

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**STUDI KOORDINASI PRODTEKSI PADA PT PETRO OXO  
NUSANTARA GRESIK DENGAN MEMPERTIMBANGKAN ARC  
FLASH**

**Fidya Eka Prahesti  
NRP 2215105015**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Ir. Arif Mustofa, MT.**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE141599**

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI PADA PT PETRO OXO  
NUSANTARA GRESIK DENGAN MEMPERTIMBANGKAN ARC  
FLASH.**

Fidya Eka Prahesti  
NRP 2213 105 015

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Ir. Arif Mustofa, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - TE141599**

***STUDY COORDINATION PROTECTION IN PETRO OXO  
NUSANTARA GRESIK WITH CONSIDERING ARC FLASH***

Fidya Eka Prahesti  
NRP 2215 105 015

Advisor  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Ir. Arif Mustofa, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **Studi koordinasi proteksi pada PT Petro Oxo Nusantara Gresik dengan mempertimbangkan arc flash**, adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku

Surabaya, Juli 2017



Fidva Eka Prahesti  
Nrp. 2215105015

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI PADA PT. PETRO OXO  
NUSANTARA GRESIK DENGAN MEMPERTIMBANGKAN ARC  
FLASH**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I,**

**Dosen Pembimbing II,**

**Dr. Ir. Margo Pujiatnara MT**  
**NIP. 196603181990101004**

**Ir. Arif Musthofa MT**  
**NIP. 196608111992031004**



**SURABAYA  
JULI, 2017**

# **Studi Koordinasi Proteksi Pada PT Petro Oxo Nusantara Gresik Dengan Mempertimbangkan Arc Flash**

Nama : Fidya Eka Prahesti  
Pembimbing 1 : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Pembimbing 2 : Ir. Arif Mustofa, MT.

## **ABSTRAK**

Sistem pengaman dalam suatu industri adalah hal yang penting dan perlu diperhatikan. Karena, saat terjadi gangguan akan mempengaruhi kontinuitas *supply* daya listrik. Permasalahan dalam kontinuitas daya dapat menghambat suatu produksi dalam pabrik yang akhirnya menyebabkan kerugian dan menurunkan kualitas produksi industri tersebut. Untuk menyempurnakan koordinasi proteksi diperlukan setting proteksi dengan memperhitungkan *arc-flash*. Karena besarnya *energy arc-flash* dapat membahayakan para pekerja didalam pabrik dan merusak peralatan disekitarnya.

Pada tugas akhir ini dilakukan studi koordinasi proteksi pada PT. Petro Oxo Nusantara Gresik. Yang pertama dilakukan adalah mencari arus hubung singkat maksimum, arus hubung singkat minimum, arus *pickup*, dan *time dial* dengan menggunakan *standart IEEE 242*. Setelah menyelesaikan koordinasi proteksi didapatkan data FCT (*Fault Clearing Time*), *Ibf* , *gap conductor*, *X factor*, dan juga *Working distance* untuk menghitung arus *arc-flash* . Besarnya arus busur api akan digunakan untuk menghitung level energi *arc-flash* pada setiap bus sesuai standar IEEE 1584 - 2002.

Dari hasil analisa studi koordinasi proteksi pada sistem eksisting dan *resetting* terdapat penurunan besarnya insiden energi pada bus 6,7,8,16,dan 19. Hal ini disebabkan karena FCT (*Fault Clearing Time*) pada sistem eksisting menjadi lebih kecil setelah dikoordinasi dengan benar. Untuk bus 3 dan 20 insiden energi bertambah besar karena nilai FCT saat eksisting sebesar 0,24, dan 0,137 sekon setelah di *resetting* menjadi 0,37 dan 0,35 sekon.

Kata Kunci : Standar IEEE 242, *Arc flash*, Insiden Energi, standar IEEE 1584–2002, FCT , *Ibf* , *gap conductor*, dan *X factor*

----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

## ***Study Coordination Protection In PT Petro Oxo Nusantara Gresik With Considering Arc Flash***

Name of Student : Fidy Eka Prahesti  
Advisor 1 : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Advisor 2 : Ir. Arif Mustofa, MT.

### ***ABSTRACT***

*The protection system in an industry are important and need to concern. Because, when there is a fault it will affect the continuity of power supply. Problems in the continuity of power will inhibit a production in the factory that eventually leads to losses and degrade the quality of industrial production. To improve the coordination of protection required protection settings by taking into account arc-flash. Due to the magnitude of the dangers of arc-flash can harm workers in the factory and damage the surrounding equipment.*

*In this final project, the study coordination of protection will be doing on PT. Petro Oxo Nusantara Gresik. The first thing to do is to find the maximum short circuit current, minimum short-circuit current, pickup current, and time dial using IEEE 242 standart. After completing the protection coordination, will get the FCT (Fault Clearing Time), Ibf, gap conductor, X factor, and also working distance to calculate arc-flash current. The magnitude of arc-flash current will be used the arc-flash energy level of each bus according to IEEE 1584-2002 standart.*

*From the analysis of coordination studies of protection on the system existing and resetting there is a decrease in the magnitude of energy incident on buses 6,7,8,16, and 19. This is because FCT (Fault Clearing Time) on the existing system becomes smaller after being properly coordinated. For buses 3 and 20 incident energy increases due to the existing FCT value of 0,24 and 0,317 seconds after resetting it become 0,24 and 0,317 seconds.*

**Keywords:** *IEEE 242 standard, Arc flash, Incident Energy, IEEE 1584-2002 standard, FCT, Ibf, gap conductor, and X factor*



----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

## KATA PENGANTAR

Segala puji kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis dalam usaha dan kerja sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul :

### **“Studi Koordinasi Proteksi Pada PT Petro Oxo Nusantara Gresik Dengan Mempertimbangkan Arc Flash”**

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan untuk menyelesaikan studi di Bidang Studi Teknik Sitem Tenaga, Program Studi S1 Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis dengan tulus ikhlas menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan anugerah kesehatan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini hingga selesai.
2. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. dan Bapak Ir. Arif Mustofa, MT. selaku dosen pembimbing, atas segala kesabaran dan kesediaannya meluangkan waktu untuk membimbing serta memberi dukungan sehingga laporan ini dapat terselesaikan tepat waktu.
3. Ayah dan Ibu selaku kedua orang tua penulis atas do’a, semangat, kasih sayang, dan kepercayaan yang diberikan selama ini, serta dukungan baik moril maupun materiil.
4. Bapak Mudrick selaku perwakilan dari PT. Petro Oxo Nusantara Gresik yang telah membantu dalam menyelesaikan laaporan tugas akhir ini.
5. Shofia Khalissatus Sa’adah sebagai sahabat saya yang selalu ada membantu dalam keadaan susah maupun senang.
6. Mbak Putri selaku keluarga baru penulis di Surabaya. Terima kasih telah memberi semangat penulis dan membantu selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
7. Mas Hendrik yang selama pengerjaan Tugas Akhir ini selalu memberi dukungan dan semangat bagi penulis baik secara langsung maupun tidak langsung.

8. Keluarga EI 16 yang selalu mensupport dan memberi semangat dalam suka maupun duka demi menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Terutama kepada Shofia Khalissatus Sa'adah, Dany Setyawan, Angga Silahuddin, Dirman Hariono Santosa, Muhammad Infaq Dahlan, Khalid Oki Wibowo, Aji Istanto Rambono dan Alin Wahyu Setyawan
9. Teman-teman TA topik proteksi, Shofia, mas Yoyok, mas Ichan, Vania, April, Thea, Imam, Putu, Ilham, Irfan dan Wahyu. Terima kasih atas diskusi selama ini yang telah banyak membantu penulis untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
10. Teman-teman kos Gebang Lor 38, Niken, Audy, Fara, dan Intan, dan Septy. Terima kasih telah menemani penulis begadang selama pengerjaan Tugas Akhir ini di kos.
11. Teman-teman LJ Teknik Elektro 2015 yang telah memberi masukan untuk menunjang Tugas Akhir ini.
12. Dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberi dorongan dan bantuan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Kesalahan tak terpisahkan dari jalan kehidupan manusia. Karena itu, saya sebagai penulis meminta maaf apabila dalam pembuatan maupun penyusunan Tugas Akhir ini banyak terdapat kekurangan. Dengan segala kerendahan hati, semoga dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini, dapat bermanfaat bagi kita semua sebagai pengembangan ilmu pengetahuan umumnya dimasa mendatang.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Metodologi.....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
1.7 Relevansi atau manfaat .....	5
<b>BAB II. KOORDINASI PROTEKSI DAN FENOMENA ARC FLASH PADA SISTEM TENAGA LISTRIK</b>	
2.1 Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik .....	7
2.1.1 Gangguan Hubung Singkat .....	8
2.1.1.1 Gangguan Hubung Singkat Simetri .....	9
2.1.1.2 Gangguan Hubung Singkat Asimetri .....	10
2.1.2 Gangguan Beban Lebih .....	12
2.1.3 Gangguan Tegangan Lebih .....	12
2.2 Jaringan Distribusi Radial.....	13
2.3 Sistem Pengaman Tenaga Listrik.....	14
2.3.1 CB ( <i>Circuit Breaker</i> ) .....	15
2.3.2 Rele Proteksi .....	16
2.3.3 Transduser .....	17
2.3.3.1 <i>Potential Transformer (PT)</i> .....	17
2.3.3.2 <i>Current Transformer (CT)</i> .....	18
2.4 Rele Arus Lebih ( <i>Over Current Relay</i> ).....	18
2.4.1 Rele Arus Lebih Waktu <i>Instant</i> .....	19
2.4.2 Rele Arus Lebih Waktu <i>Inverse</i> .....	19
2.4.3 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu ( <i>Definite</i> ).....	20
2.5 <i>Setting</i> Rele Arus Lebih .....	21

2.5.1	<i>Setting</i> Rele Arus Lebih <i>Instant</i> .....	21
2.5.2	<i>Setting</i> Rele Arus Lebih <i>Inverse</i> .....	22
2.6	<i>Ground Fault Relay</i> (Rele Gangguan ke Tanah) .....	23
2.7	Definisi Busur Api .....	24
2.8	Perhitungan Energi Busur Api Menggunakan Standart IEEE 1584 – 2002 .....	25
2.9	Jarak Aman Pelindung ( <i>Flash Protection Boundary</i> ) .....	28
2.10	Pengelompokan Tingkatan Energi Busur Api terhadap PPE ( <i>Personal Protective Equipment</i> ) .....	30

### **BAB III. SISTEM KELISTRIKAN PT. PETRO OXO NUSANTARA GRESIK**

3.1	Seputar PT. Petro Oxo Nusantara Gresik .....	33
3.2	Sistem Kelistrikan PT. Petro Oxo Nusantara Gresik .....	34
3.3	Sistem Distribusi PT. Petro Oxo Nusantara Gresik .....	36
3.4	Beban pada PT. Petro Oxo Nusantara Gresik .....	37

### **BAB IV. HASIL SIMULASI DAN ANALISA**

4.1	Pemodelan Sistem Kelistrikan PT. PON .....	39
4.2	Pemilihan Tipikal Koordinasi Proteksi Sistem Kelistrikan pada PT. PON Gresik .....	39
4.3	Analisa Arus Gangguan Hubung Singkat .....	40
4.3.1	Analisis Hubung Singkat Minimum .....	40
4.3.2	Analisis Hubung Singkat Maksimum .....	41
4.4	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa .....	42
4.4.1	Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 1 .....	43
4.4.2	Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 2 .....	52
4.5	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah .....	59
4.5.1	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 1 .....	60
4.6	Perhitungan Insiden Energi Busur Api dengan Standar IEEE 1584-2002 pada Sistem Eksisting .....	64
4.7	Hasil Simulasi Insiden Energi Busur Api dengan Standar IEEE 1584-2002 pada Sistem <i>Resetting</i> .....	67
4.8	Perhitungan Insiden Energi Busur Api dengan Standar IEEE 1584-2002 pada Sistem <i>Resetting</i> .....	68
4.9	Perbandingan Hasil Simulasi Insiden Energi Busur Api <i>Resetting</i> dan Perhitungan Insiden Energi Busur Api <i>Resetting</i> dengan Standar IEEE 1584-2002 .....	72

4.10	Perhitungan <i>Flash Protection Boundary</i> Kondisi <i>Resetting</i>	72
4.11	Perbandingan Besar Energi Busur Api Kondisi Eksisting dan Setelah <i>Resetting</i>	74
4.12	<i>Personal Protective Equipment</i> (PPE) yang Harus Digunakan	75
<b>BAB V. PENUTUP</b>		
5.1	Kesimpulan	77
5.2	Saran	77
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		79
<b>LAMPIRAN 1: <i>Data Sheet</i> Rele Schneider Electric–Merlin Gerlin Sepam 2000</b>		A-1
<b>LAMPIRAN 2: <i>Data Sheet</i> Rele Schneider Electric–Merlin Gerlin Sepam 1000</b>		B-1
<b>BIODATA PENULIS</b>		C-1

----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Gambar Hubung Singkat Tiga Fasa .....	9
<b>Gambar 2.2</b>	(a) Komponen Urutan Positif; (b) Komponen Urutan Negatif; (c) Komponen Urutan Nol .....	10
<b>Gambar 2.3</b>	Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa .....	10
<b>Gambar 2.4</b>	Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah .....	11
<b>Gambar 2.5</b>	Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah .....	12
<b>Gambar 2.6</b>	Jaringan Distribusi Pola Radial.....	13
<b>Gambar 2.7</b>	Zona Sistem Proteksi <i>Primary</i> .....	14
<b>Gambar 2.8</b>	Konstruksi Suatu Pemutus Daya dan Bentuk Fisik ...	16
<b>Gambar 2.9</b>	Sirkuit Diagram Trafo Tegangan (PT).....	17
<b>Gambar 2.10</b>	Sirkuit Diagram Trafo Arus (CT) .....	18
<b>Gambar 2.11</b>	Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika.....	19
<b>Gambar 2.12</b>	Karakteristik <i>Standart Inverse, Very Inverse dan Extremely Inverse</i> .....	20
<b>Gambar 2.13</b>	Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu .....	21
<b>Gambar 2.14</b>	Rele Arus Lebih Pengaman Trafo.....	21
<b>Gambar 2.15</b>	Rangkaian <i>Ground Fault Relay</i> .....	23
<b>Gambar 2.16</b>	<i>Flash Protection Boundaries</i> .....	29
<b>Gambar 3.1</b>	<i>Single Line Diagram</i> PT. Petro Oxo Nusantara Gresik .....	35
<b>Gambar 3.2</b>	Komposit (Cmtr2) PT. Petro Oxo Nusantara Gresik .	36
<b>Gambar 4.1</b>	<i>Single Line Diagram</i> Tipikal PT. Petro Oxo Nusantara Gresik .....	43
<b>Gambar 4.2</b>	<i>Single Line Diagram</i> Tipikal 1 .....	44
<b>Gambar 4.3</b>	Hasil <i>Plot Eksisting</i> Rele Gangguan Fasa Tipikal 1	45
<b>Gambar 4.4</b>	Hasil <i>Plot Resetting</i> Rele Gangguan Fasa Tipikal 1 ..	51
<b>Gambar 4.5</b>	<i>Single Line Diagram</i> Tipikal 2 .....	52
<b>Gambar 4.6</b>	Hasil <i>Plot Eksisting</i> Rele Gangguan Fasa Tipikal 2	53
<b>Gambar 4.7</b>	Hasil <i>Plot Resetting</i> Rele Gangguan Fasa Tipikal 2..	59
<b>Gambar 4.8</b>	<i>Single Line Diagram</i> Tipikal 1 Gangguan Fasa ke Tanah .....	60
<b>Gambar 4.9</b>	Hasil <i>Plot Eksisting</i> Rele Gangguan Fasa ke Tanah Tipikal 1.....	61
<b>Gambar 4.10</b>	Hasil <i>Plot Resetting</i> Rele Gangguan Fasa ke Tanah Tipikal 1.....	63



----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Tabel Data Jarak Celah Bus (Jarak Bus) .....	26
<b>Tabel 2.2</b>	Tabel Data Parameter-Parameter yang Dibutuhkan Untuk Perhitungan Insiden <i>Energy</i> .....	28
<b>Tabel 2.3</b>	<i>Personal Protective Equipment</i> .....	30
<b>Tabel 3.1</b>	Data Bus .....	36
<b>Tabel 3.2</b>	Data Trafo .....	37
<b>Tabel 3.3</b>	Data Motor di PT. Petro Oxo Nusantara Gresik.....	37
<b>Tabel 4.1</b>	Data Hubung Singkat Minimum 30 <i>Cycle</i> .....	41
<b>Tabel 4.2</b>	Data Hubung Singkat Maximum 4 <i>Cycle</i> .....	42
<b>Tabel 4.3</b>	Data <i>Setting</i> Relay Motor GCB-1.....	46
<b>Tabel 4.4</b>	Data <i>Setting</i> Relay Inc 6 kV .....	47
<b>Tabel 4.5</b>	Data <i>Setting</i> Relay Out 20 kV .....	49
<b>Tabel 4.6</b>	Data <i>Setting</i> ACB-4 .....	54
<b>Tabel 4.7</b>	Data <i>Setting</i> Relay GCB 3.....	55
<b>Tabel 4.8</b>	Data <i>Setting</i> Relay Inc 6 kV Tipikal 2.....	56
<b>Tabel 4.9</b>	Data <i>Setting</i> Relay Out 20 kV Tipikal 2.....	57
<b>Tabel 4.10</b>	Tegangan dan Pentanahan Peralatan .....	60
<b>Tabel 4.11</b>	Data <i>Setting</i> Relay Motor GCB-1 Tipikal Ground Fault .....	62
<b>Tabel 4.12</b>	Data <i>Setting</i> Relay Inc 6 kV Tipikal 1 Ground Fault ....	62
<b>Tabel 4.13</b>	Data Bus Untuk Perhitungan Energi Busur Api Pada Sistem Eksisting .....	64
<b>Tabel 4.14</b>	Data Hasil Simulasi Perhitungan Energi Busur Api Kondisi Eksisting PT. Petro Oxo Nusantara Gresik .....	68
<b>Tabel 4.15</b>	Data Bus Untuk Perhitungan Energi Busur Api Pada Sistem <i>Resetting</i> .....	68
<b>Tabel 4.16</b>	Hasil <i>Setting</i> Energi Busur Api Eksisting.....	72
<b>Tabel 4.17</b>	Hasil <i>Flash Protection Boundary Resetting</i> .....	74
<b>Tabel 4.18</b>	Data Perbandingan Besar Insiden Energi Kondisi <i>Existing</i> dan <i>Resetting</i> .....	75
<b>Tabel 4.19</b>	Data Kategori PPE Bus Pada PT. Petro Oxo Nusantara Gresik .....	76

----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam suatu sistem kelistrikan pabrik, proteksi merupakan hal yang terpenting untuk suatu *plant* industri. Adanya gangguan akan mempengaruhi kontinuitas *supply* daya listrik yang dapat menimbulkan penurunan produktivitas suatu *plant* industri. Hal ini sangatlah merugikan bagi setiap industri. Oleh karena itu dengan membuat koordinasi proteksi yang baik untuk suatu industri diperlukan perhitungan yang tepat agar keandalan suatu sistem industri dapat terjaga dengan baik. Pada sistem distribusi tegangan menengah 20 kV sering terjadi gangguan hubung singkat, jika sistem proteksi tidak di *desain* dengan baik maka memungkinkan sistem menjadi *black out* (pemadaman). Oleh karena itu diperlukan koordinasi proteksi sistem pengamanan yang baik dengan memperhitungkan bahaya *arc flash* atau busur api.

Pengertian dari *arc flash* adalah pelepasan suatu energi panas yang sangat tinggi karena adanya *arc fault* ataupun *bolted fault*. Adapun *arc fault* merupakan arus gangguan yang mengalir melalui udara antara konduktor dengan konduktor atau konduktor dengan tanah. Sedangkan *bolted fault* adalah arus gangguan yang menggunakan perantara konduktor sebagai jalurnya. Adanya busur api akan menimbulkan radiasi panas disekitarnya hingga mencapai temperatur 35,000 °F. Ledakan yang sangat keras dari *arc flash* dapat menyebabkan luka bakar bagi pekerja yang ada disekitar tempat kejadian. Penyebab utama terjadinya *arc flash* adalah karena kesalahan manusia dalam bekerja dan juga kegagalan sistem listrik. Salah satu kesalahan para pekerja yang sering terjadi adalah menaruh peralatan listrik (ex : obeng, tang, dll) pada konduktor yang sedang teraliri listrik. Semakin besar arus gangguan maka akan semakin besar pula bahaya yang ditimbulkan untuk peralatan disekitar dan bahkan membahayakan nyawa pekerja disekitarnya. Sehingga dengan melakukan perhitungan *arcing current* dan *incident energi* akan diketahui level energi bahaya *arc flash* yang mungkin terjadi pada sistem, agar pemilihan peralatan pengamanan dapat diperhitungkan untuk mengurangi level bahaya energi *arc flash* tersebut.[1]

## 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah:

1. *Settingkoordinasi Over Current Relay (OCR)* meliputi *Low set* dan *High set* (TDS & Ip ).
2. Menganalisa besarnya energi busur api (*arc flash*) *existing* sesuai standar IEEE 1584-2002.
3. Menganalisa besarnya energi busur api (*arc flash*) dan menghitung *setting* pengamanan yang baru setelah *resetting*, sesuai standar IEEE 1584-2002.
4. Membandingkan jarak aman pada kondisi *existing* dan *restting*.
5. Mendapatkan kategori resiko yang ditimbulkan dari besarnya energi busur api (*arc flash*) sesuai standar NFPA 70E, sehingga didapatkan perlengkapan keselamatan yang cocok untuk para pekerja.

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan masalah dalam tugas akhir ini maka perlu diberikan batasan-batasan sebagai berikut :

1. Simulasi dan analisa sistem kelistrikan dilakukan dengan menggunakan *Software* ETAP 12.6.0.
2. Evaluasi dan analisa dilakukan pada sistem distribusi radial jaringan menengah 20 kV, 6,3 kV dan jaringan rendah 0,4 kV di PT. Petro Oxo Nusantara Gresik.
3. Hanya memperhatikan *settingrelay* pada *Over Current Relay (OCR)* dan *Ground Fault Relay (GFR)*.

## 1.4 Tujuan

Tujuan dan manfaat dari tugas akhir ini adalah :

1. Memperoleh bagaimana *setting* rele pengamanan yang dapat bekerja secara terkoordinasi dengan baik untuk mengaman sistem kelistrikan.
2. Menganalisa data untuk mengetahui insiden *arc flash* yang mungkin terjadi.
3. Mensimulasikan dan mengevaluasi unjuk kerja sistem berdasarkan permasalahan bahaya *arc flash*.
4. Mendapatkan kategori level insiden energi busur api.
5. Menentukan jenis peralatan pengamanan pribadi (PPE – *Personal Protective Equipment*) yang sesuai.
6. Mengetahui jarak aman pekerja untuk meminimalisir bahaya dari energi busur api (*Arc flash*)

## 1.5 Metodologi

Metode yang digunakan dalam tugas akhir ini terdiri dari Studi Literature, Pengumpulan Data, Pemodelan Sistem, Simulasi, Analisa Hasil Data, kesimpulan dan Penyusunan Laporan.

### 1. Studi Literature

Studi literature ini bertujuan untuk menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan judul tugas akhir, seperti studi tentang analisa hubung singkat, koordinasi proteksi, dan analisa perhitungan busur api serta jarak aman pekerja disetiap level energi *arc flash*.

### 2. Pengumpulan Data

Data yang diperlukan untuk melakukan kordinasi proteksi dan perhitungan energi *arc flash* adalah data-data tegangan menengah dan tegangan rendah pada *electrical room*. Data-data ini dapat diperoleh dari sistem kelistrikan pembangkit PT. Petro Oxo Nusantara Gresik meliputi data-data spesifikasi peralatan ,Saluran, Circuit Breaker (CB), Relay, dan beban.

### 3. Pemodelan Sistem

Pada pemodelan sistem tugas akhir ini, data sistem kelistrikan PT Petro Oxo Nusantara Gresik yang diperlukan harus sudah lengkap.

### 4. Simulasi

Simulasi untuk tugas akhir ini menggunakan bantuan *software* ETAP 12.6. Data – data yang dibutuhkan, digunakan untuk memperbaiki kordinasi proteksi sistem *exixting*. Dan jika perlu *resetting*, maka sistem dapat *diresetting* agar keandalan suatu pabrik dapat meningkat.

### 5. Analisis Hasil Data, dan Penyusunan Laporan

Dengan melakukan analisis hasil data kemudian dapat ditentukan kordinasi proteksi yang baru. Setelah itu menghitung *Personal Protection Equipment* (PPE) yang harus digunakan. Sebagai dasar bahaya busur api yang digunakan mengacu dari *National Fire Protection Association* (NFPA) 70E-2004.

Setelah analisa selesai langkah akhir dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah pemberian saran dan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Penulisan laporan dalam tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab yaitu bab Pendahuluan, Koordinasi Proteksi Sistem Tenaga Listrik dan Fenomena *Arc flash*, Sistem Kelistrikan PT. Petro Oxo Nusantara Gresik, Hasil Simulasi dan Analisa serta bab terakhir yaitu Penutup.

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Pada bab ini dipaparkan mengenai latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan laporan Tugas Akhir dan relevansi.

### **BAB II : KOORDINASI PROTEKSI DAN FENOMENA ARC FLAS PADA SISTEM TENAGA LISTRIK**

Pada bab ini dipaparkan mengenai teori-teori penunjang yang digunakan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini. Seperti gangguan yang ada pada sistem kelistrikan, analisa hubung singkat, jenis-jenis sistem pengaman dengan spesifikasi rele, koordinasi rele arus lebih, energi busur api sesuai standar IEE 1584 – 2002, dan juga perlengkapan perlindungan diri sesuai NFPA 70E.

### **BAB III : SISTEM KELISTRIKAN PT. PETRO OXO NUSANTARA GRESIK**

Pada bab ini dipaparkan mengenai sistem kelistrikan PT. Petro Oxo Nusantara Gresik, meliputi data dan spesifikasi peralatan-peralatan yang digunakan, konfigurasi sistem kelistrikan, serta beberapa hal mengenai operasi sistem tenaga listrik.

### **BAB IV : HASIL SIMULASI DAN ANALISIS**

Pada bab ini dipaparkan mengenai hasil simulasi yang telah dilakukan. Dalam bab ini juga dituangkan analisis kordinasi proteksi dalam keadaan *existing* dan *resetting* agar didapatkan kurva koordinasi proteksi yang baik, serta perhitungan *settingrele* meliputi perhitungan *high set* dan *low set*, sehingga didapatkan nilai *time dial*, *time delay*, *settingtime over current pick-up*, *instantaneous pick-up*, *plotting Time Current Curve (TCC)*, serta perhitungan energi busur api dalam kondisi *existing* dan *resetting*. Kemudian menghitung flash protection boundary untuk mendapatkan jarak batas seseorang mengenakan pelindung pakaian.

## **BAB V : PENUTUP**

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan dari Tugas Akhir.

### **1.7 Relevansi atau Manfaat**

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Dapat menjadi referensi bagi PT. Petro Oxo Nusantara Gresik dalam mengetahui kordinasi proteksi yang benar.
2. Dapat menjadi refrensi bagi perusahaan untuk mengetahui analisa *arc flash* saat terjadi gangguan.
3. Dapat menjadi referensi dan informasi bagi pembaca yang mengambil topik yang serupa.
4. Dapat menjadi referensi untuk membatasi arus hubung singkat yang besar pada suatu sistem tenaga listrik.



----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

## **BAB II**

### **KOORDINASI PROTEKSI DAN FENOMENA ARC FLASH PADA SISTEM TENAGA LISTRIK**

#### **2.1 Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik**

Gangguan merupakan suatu kondisi ketidak normalan (*interferes*) dalam sistem tenaga listrik, yang menimbulkan adanya arus tidak seimbang dalam sistem tiga fasa. Saat terjadi gangguan pada sistem tenaga listrik, maka semua arus akan mengalir menuju titik gangguan. Arus gangguan tersebut memiliki nilai yang besar dari nilai rating arus maksimum yang diijinkan, sehingga terjadi kenaikan temperature pada peralatan yang dalam sistem, dan menyebabkan kerusakan pada peralatan-peralatan tersebut [2].

Berikut ini merupakan klarifikasi gangguan yaitu :

- a. Berdasarkan kesimetrisan :
  1. Gangguan Asimetris merupakan gangguan yang menyebabkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang. Gangguan ini terdiri dari :
    - Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.
    - Gangguan hubung singkat dua fasa.
    - Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah.
  2. Gangguan Simetris merupakan gangguan yang terjadi pada semua fasa, sehingga arus maupun tegangan disetiap fasanya tetap seimbang setelah ada gangguan. Gangguan ini terdiri dari :
    - Gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah.
    - Gangguan hubung singkat tiga fasa.
- b. Berdasarkan lamanya gangguan :
  1. Gangguan Permanen, merupakan gangguan yang tidak hilang atau tetap ada walaupun pemutus tenaga telah terbuka pada saluran transmisi dimana untuk membebaskan sistem dari gangguan ini diperlukan tindakan perbaikan atau segera menghilangkan penyebab gangguan tersebut.
  2. Gangguan Temporer (*Transient*), merupakan gangguan yang dapat hilang dengan sendirinya apabila pemutus tenaga terbuka dari saluran transmisi untuk waktu yang

singkat dan setelah itu dapat sistem dapat dihubungkan kembali.

- c. Berdasarkan faktor penyebab terjadi gangguan, yaitu :
1. Gangguan internal, merupakan gangguan yang berasal dari dalam sistem. Penyebab gangguan yang berasal dari dalam sistem antara lain :
    - Beban lebih (*overload*)
    - Tegangan dan arus abnormal
    - Kerusakan material seperti isolator pecah, kabel isolasi yang cacat, dan kawat putus
    - Kesalahan mekanis karena factor usia peralatan (penuan)
    - Pemaangan peralatan yang kurang benar.
  2. Gangguan eksternal, merupakan gangguan yang berasal dari luar sistem. Penyebab gangguan yang berasal dari dalam luar sistem antara lain :
    - Pengaruh lingkungan seperti pohon ,binatang, dan benda-benda asing serta akibat kecorobohan manusia.
    - Pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembusnya isolasi peralatan (*breakdown*).

### **2.1.1 Gangguan Hubung Singkat**

Gangguan hubung singkat merupakan gangguan yang biasa terjadi pada sistem tenaga listrik. Pengertian hubung singkat menurut IEC 60909 adalah hubungan konduksi melalui hambatan atau impedansi yang cukup rendah antara dua atau lebih titik yang dalam keadaan normalnya mempunyai beda potensial. Berdasarkan pada referensi [3], gangguan hubung singkat dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tidak simetri (asimetri). Sebagian besar gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik merupakan gangguan asimetri. Untuk gangguan hubung singkat simetri yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa, sedangkan gangguan yang lainnya merupakan gangguan tidak simetri. Gangguan asimetri ini diakibatkan karena adanya gangguan

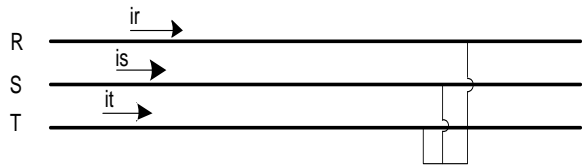
hubung singkat satu fasa ketanah, gangguan hubung singkat dua fasa, gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah. Adanya gangguan hubung singkat dapat mengakibatkan rusaknya peralatan listrik, terhentinya *supply* daya akibat terputusnya *circuit breaker* dan berkurangnya stabilitas daya.

Tujuan analisa hubung singkat, yaitu [4]:

1. Menentukan *short circuit capacity* (daya hubung singkat dalam MVA) pada setiap bus dan juga daya hubung singkat yang mengalir pada saluran yang terhubung pada bus tersebut, sehingga dapat mentukan kapasitas alat pemutus daya (*Circuit Breaker*).
2. Dapat mentukan *setting* rele dan koordinasi proteksi pada suatu sistem, untuk mengamankan dari keadaan abnormal dalam waktu yang secepat mungkin.
3. Menentukan arus dan tegangan maksimum dan minimum pada bagian-bagian / titik-titik tertentu dari suatu sistem tenaga listrik untuk setiap jenis gangguan yang mungkin akan terjadi.

### 2.1.1.1 Gangguan Hubung Singkat Simetri

Gangguan hubung singkat simetri atau biasa disebut gangguan hubung singkat seimbang adalah gangguan yang terjadi pada semua fasa, sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Gangguan simetri ini dapat dianalisa dengan menggunakan komponen urutan positif. Gambar 2.1 merupakan rangkaian hubung singkat tiga fasa.



**Gambar 2.1** Gambar Hubung Singkat Tiga Fasa

Besarnya arus hubung singkat tiga fasa dapat dihitung dengan persamaan seperti berikut :

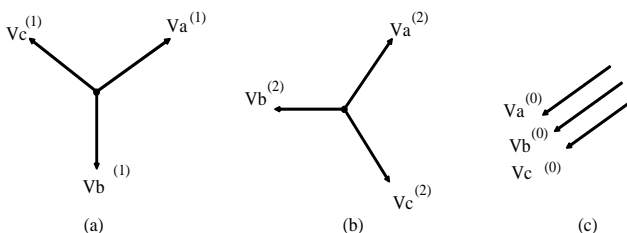
$$I_{sc\ 3\phi} = \frac{V_{LN}}{x_1} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan keterangan:

$I_{SC3\phi}$  : Arus hubung singkat 3 fasa.  
 $V_{LN}$  : Tegangan nominal *line to netral*.  
 $X_1$  : Reaktansi urutan positif.

### 2.1.1.2 Gangguan Hubung Singkat Asimetri

Gangguan hubung singkat asimetri atau biasa disebut juga gangguan tidak seimbang. Adanya gangguan ini menimbulkan nilai arus disetiap fasanya tidak sama. Artinya, arus kontribusi hanya berasal dari salah satu atau dua fasanya. Untuk gangguan asimetri dapat disederhanakan dengan menggunakan komponen simetri pada Gambar 2.2 dibawah ini [5].

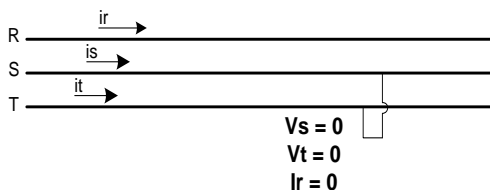


**Gambar 2.2** (a) Komponen Urutan Positif; (b) Komponen Urutan Negatif; (c) Komponen Urutan Nol

Contoh dari gangguan ini adalah gangguan satu fasa ketanah, gangguan antar fasa, dan gangguan dua fasa ke tanah.

#### 1. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Gangguan hubung singkat dua fasa merupakan gangguan hubung singkat yang terjadi antara dua fasa. Gangguan ini tidak mengandung urutan nol, karena tidak ada gangguan yang menuju tanah. Gambar 2.3 merupakan rangkaian hubung singkat dua fasa.



**Gambar 2.3** Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Besarnya arus hubung singkat dua fasa dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

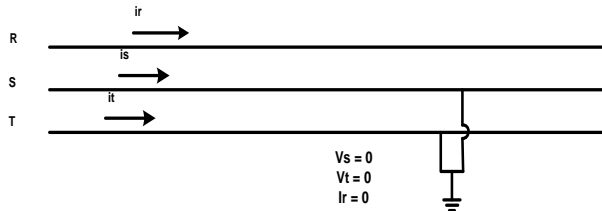
$$I_{sc\ 2\phi} = \frac{V_{LL}}{x_1 + x_2} = \frac{\sqrt{3} \times V_{LN}}{2 \times x_1} = \frac{\sqrt{3}}{2} x I_{sc\ 3\phi} \approx 0.866 \times I_{sc\ 3\phi} \dots \dots (2.2)$$

Dengan Keterangan:

- $I_{sc\ 3\phi}$  : arus hubung singkat 3 fasa
- $I_{sc\ 2\phi}$  : arus hubung singkat 2 fasa
- $V_{LN}$  : tegangan nominal *line to neutral*
- $V_{LL}$  : tegangan nominal *line to line*
- $x_1$  : reaktansi urutan positif
- $x_2$  : reaktansi urutan negatif

## 2. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ke Tanah

Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah adalah gangguan yang terjadi ketika dua fasa terhubung dengan ketanah. Gambar 2.4 merupakan gambar rangkaian hubung singkat dua fasa ketanah.



**Gambar 2.4** Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah.

Besarnya arus hubung singkat dua fasa ketanah dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$I_{A1} = \frac{V_f}{z_1 + z_2 z_0 / (z_2 + z_0)} \dots \dots \dots (2.3)$$

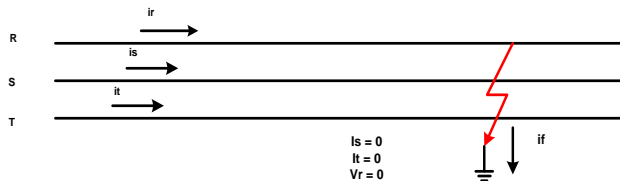
Dengan Keterangan:

- $I_{A1}$  : Arus hubung singkat 2 fasa ketanah
- $V_f$  : tegangan bus saat gangguan
- $z_1$  : impedansi urutan positif
- $z_2$  : impedansi urutan negatif

$z_3$  : impedansi urutan nol

### 3. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah ini terjadi pada satu fasa yang terhung ke tanah. Untuk menganalisa arus gangguan diperlukan metode komponen simetris. Pada Gambar 2.5 merupakan gambar rangkaian hubung singkat satu fasa ketanah.



**Gambar 2.5** Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah.

Besarnya arus hubung singkat satu fasa ketanah dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$I_{sc\ 1\phi} = \frac{3V_{LN}}{x_1 + x_2 + x_0} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

$I_{sc\ 1\phi}$  = Arus hubung singkat 1 fasa ketanah

$V_{LN}$  = tegangan nominal *line to netral*

$x_0$  = reaktansi urutan nol

$x_1$  = reaktansi urutan positif

$x_2$  = reaktansi urutan negatif

### 2.1.2 Gangguan Beban Lebih

Gangguan beban lebih (*Overload*) merupakan gangguan yang yang timbul karena konsumsi daya listrik yang melebihi batas dari daya yang dihasilkan pembangkit. Bila gangguan ini terus menerus terjadi dapat merusak peralatan listrik yang dialiri arus tersebut.

### 2.1.3 Gangguan Tegangan lebih

Gangguan tegangan lebih diakibatkan karena adanya kelainan pada sistem. Gangguan tegangan lebih dapat terjadi antara lain karena [6] :Gangguan surja hubung, seperti penutupan saluran tak serempak pada pemutus tiga fasa, pelepasan beban akibat gangguan, penutupan kembali saluran dengan cepat, dan penutupan saluran yang semula tidak masuk

kesistem menjadi masuk ke sistem. Dan juga karena gangguan akibat adanya petir.

## 2.2 Jaringan Distribusi Radial

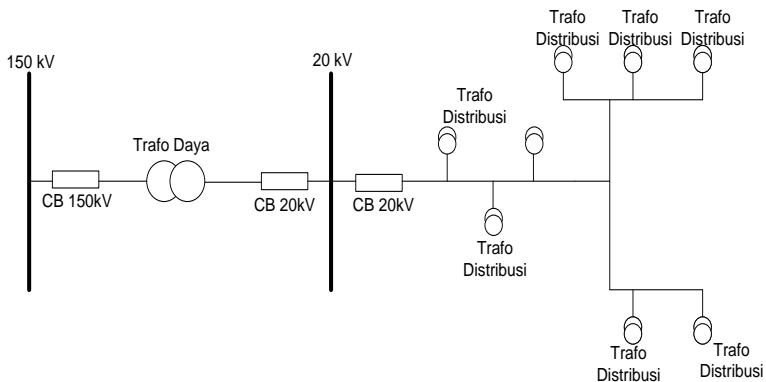
Berdasarkan letak jaringan terhadap posisi gardu induk, jaringan distribusi radial dibagi menjadi dua yaitu :

- Jaringan distribusi tegangan menengah (jaringan distribusi primer)
- Jaringan distribusi tegangan rendah (jaringan distribusi sekunder)

Jaringan distribusi tegangan menengah (JTM) merupakan suatu jaringan yang letaknya berada sebelum gardu distribusi. Jaringan ini berfungsi untuk menyalurkan tegangan menengah (20kV, 12kV, 7kV, atau 6kV). Jaringan ini menghubungkan dari saluran gardu induk sisi sekunder trafo daya dengan gardu distribusi sisi primer dari trafo distribusi.

Jaringan distribusi tegangan rendah (JTR) merupakan suatu jaringan yang letaknya berada setelah gardu distribusi. Jaringan ini berfungsi untuk menyalurkan tegangan rendah (220V/380V). Jaringan ini menghubungkan dari gardu distribusi sisi sekunder trafo distribusi menuju ke konsumen atau pemakai jaringan tegangan rendah ini.

Pada Gambar 2.6 merupakan sistem distribusi yang sederhana dengan pola radial. Dinamakan sistem distribusi radial karena penyaluran daya pada sistem ini ditarik secara radial dari sumber menuju kecabang-cabang dari titik beban.



**Gambar 2.6** Jaringan Distribusi Pola Radial

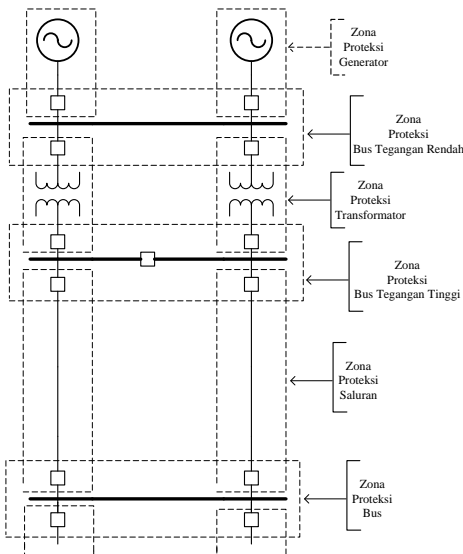


### 2.3 Sistem Pengaman Tenaga Listrik

Sistem pengaman tenaga listrik, dari tahun ke tahun telah berkembang dengan cukup pesat. Perangkat perangkat yang awalnya hanya dapat bekerja dengan kapasitas yang terbatas, sekarang berkembang menjadi perangkat sistem yang kompleks dan handal. Sistem proteksi yang baru dapat bekerja lebih selektif dalam mendeteksi dan beroperasi. Konsep dari proteksi adalah menjelaskan bagaimana cara menyetting generator, trafo, dan struktur bus lainnya agar dapat terlindungi di zona aman[7]. Dalam penanganan proteksi sistem tenaga listrik, terdapat dua cara dasar untuk memproteksi suatu sistem, yaitu :

1. *Reactionary device*, merupakan suatu alat yang dirancang untuk mengetahui bahaya pada sistem tenaga listrik dan langsung bekerja untuk menghilangkan bahaya tersebut.
2. *Safeguard device*, merupakan suatu alat yang dirancang untuk mengetahui bahaya pada sistem tenaga listrik dan langsung bekerja agar kondisi bahaya yang ada dapat berkurang.

Dalam sistem proteksi, terdapat beberapa pembagian zona primer yang merupakan zona sensitif. Pada Gambar 2.7 merupakan contoh sederhana dari pembagian zona proteksi sistem tenaga.



**Gambar 2.7** Zona Sistem Proteksi *Primary*

Konsep daerah pengaman memberikan suatu pengertian mengenai batas daerah bagi sistem pengaman, sehingga suatu sistem pengaman akan memberikan respon terhadap gangguan yang terjadi di daerahnya sendiri. Pembagian zona pengaman juga digunakan untuk membedakan rele pengaman utama dan rele pengaman *backup*. Ketika terjadi gangguan di motor maka rele yang berkerja adalah rele pengaman utama motor yang berada di atas motor. Rele pengaman *back up* berkerja setelah rele pengaman utama. Antara rele pengaman utama dan rele pengaman backup tidak boleh bekerja bersamaan. Perbedaan waktu kerja rele pengaman utama dengan rele *backup* disebut *time delay* atau biasa disebut ( $\Delta t$ ). waktu kerja antara rele pengaman utama dengan rele pengaman *backup* adalah 0.2-0.35 detik untuk rele konvensional.

Menurut standard IEEE 242 :

Waktu buka CB : 0.04-0.1 s(2-5 cycle)

Overtravel dari rele : 0.1 s

Faktor keamanan : 0.12-0.22 s

Sedangkan untuk rele berbasis *microprocessor overtravel time* rele diabaikan. Sehingga total waktu yang diperlukan 0.2-0.4 s. perbedaan waktu dari rele ini untuk memastikan bahwa gangguan disisi hilir telah berhasil padam.

### 2.3.1 CB (Circuit Breaker)

*Circuit breaker* atau PMT (Saklar Pemutus Tegangan) merupakan kontak otomatis yang dapat memutus rangkaian listrik pada suatu sistem tenaga listrik dalam keadaan normal ataupun saat ada gangguan hubung singkat (*Short Circuit*) sesuai dengan ratingnya. Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh suatu PMT agar dapat bekerja dengan baik adalah :

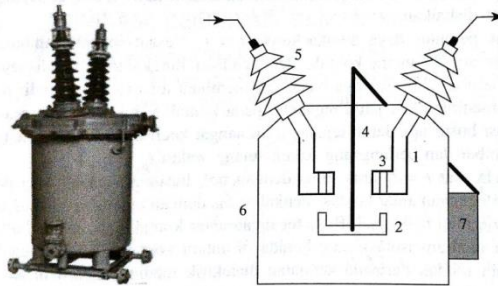
- Mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara terus-menerus.
- Mampu memutuskan dan menutup jaringan dalam keadaan berbeban maupun terhubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus tenaga itu sendiri.
- Dapat memutuskan arus hubung singkat dengan kecepatan tinggi agar arus hubung singkat tidak sampai merusak peralatan sistem, membuat sistem kehilangan kestabilan, dan merusak pemutus tenaga itu sendiri.

Pada Gambar 2.8 merupakan bentuk fisik dan konstruksi dari suatu CB (Pemutus Daya) menggunakan minyak. Kontak tetap dan

kontak bergerak merupakan bagian utama dari pemutus daya. Kontak tetap merupakan kontak yang tidak dapat dirubah lagi kontruksinya. Untuk kontak bergerak dapat digerakkan secara manual atau dengan sistem pneumatik atau menggunakan motor listrik.

Keterangan :

1. Kontak tetap
2. Kontak bergerak
3. Bilik kontak
4. Tungkai penggerak kontak
5. Bushing



**Gambar 2.8** Kontruksi Suatu Pemutus Daya Dan Bentuk Fisik

### 2.3.2 Rele Proteksi

Komponen utama dalam suatu sistem proteksi tenaga listrik adalah sebuah rele pengaman. Rele memang dirancang untuk mendeteksi adanya gangguan pada suatu sistem tenaga listrik. Saat terjadi gangguan rele harus cepat bekerja untuk melokalisir dan menghilangkan gangguan tersebut, agar tidak menimbulkan gangguan lainnya yang muncul. Rele proteksi harus memenuhi beberapa syarat saat sedang beroperasi, yaitu :

1. Kecepatan Bereaksi

kecepatan rele saat bereaksi dapat mengurangi kerusakan dari unit rele. Selain itu untuk menjaga kestabilan dari sistem tersebut dan menjaga proteksi keamanannya.

2. Kepekaan Operasi (*sensitivity*)

Kemampuan peralatan rele proteksi agar dapat memberikan respon untuk merasakan adanya gangguan. Dengan membandingkan arus hubung singkat minimum dan arus pada sisi primer trafo.

3. Selektif

Peralatan pengaman proteksi harus selektif dalam memilih gangguan. Cb (*circuit breaker*) yang terdekat dengan gangguan harus lebih diprioritaskan untuk trip.

4. Keandalan

Tingkat keandalan dari suatu peralatan rele pengaman merupakan salah satu faktor pertimbangan yang penting. Semakin handal peralatan pengamannya, semakin baik tingkat kontinuitas sistem penyaluran daya.

#### 5. Ekonomis

Dalam pemilihan rele pengaman harus disesuaikan dengan harga peralatan yang diamankan. Sehingga harga rele pengaman yang digunakan tidak melebihi harga peralatan.

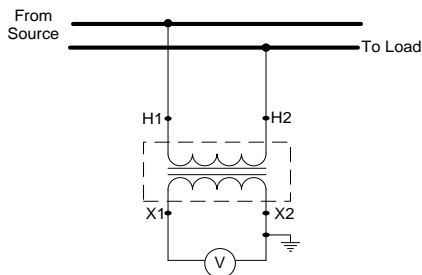
### 2.3.3 Transduser

Transduser adalah sebuah peralatan yang berfungsi untuk mengubah dari satu bentuk energi menjadi energi lainnya, agar mempermudah suatu proses termasuk dalam pengubahan ukuran. Pada sistem proteksi, salah satu contoh transduser adalah *Potential Transformer* (PT) dan *Current Transformer* (CT).

#### 2.3.3.1 Potential Transformer (PT)

Trafo tegangan berfungsi untuk menurunkan tegangan sistem dengan perbandingan transformasi tertentu. Trafo tegangan (PT) adalah trafo instrumentasi yang berfungsi untuk mentransformasi tegangan sistem (tegangan tinggi) menjadi tegangan rendah, sehingga dapat diukur dengan voltmeter [8].

Cara kerja trafo tegangan adalah, dengan menghubungkan kumparan primer trafo yang dipararel pada jaringan yang akan diukur tegangannya. Voltmeter atau kumparan tegangan wattmeter dihubungkan pada kumparan sekunder. Sehingga rangkaian sekunder hamper pada kondisi *open circuit*, seperti yang terlihat pada Gambar 2.9 besarnya arus primer tergantung pada besarnya beban disisi sekunder.

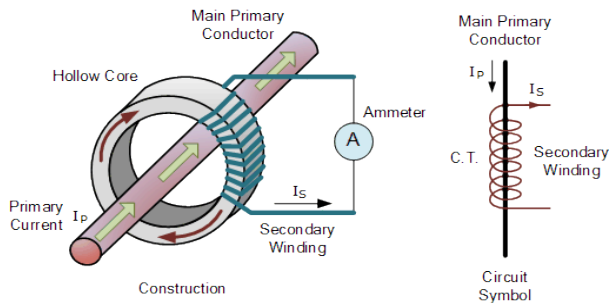


**Gambar 2.9** Sirkuit Diagram Trafo Tegangan (PT)

### 2.3.3.2 Current Transformer (CT)

Trafo arus adalah sebuah peralatan sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk pengukuran arus yang besarnya ratusan ampere dan mengalir pada jaringan tegangan tinggi. Selain untuk pengukuran arus, trafo arus (CT) juga digunakan untuk pengukuran daya dan energi, pengukuran jarak jauh, dan rele proteksi. Cara kerja pada trafo arus adalah dengan menghubungkan kumparan trafo primer di seri dengan kumparan sekunder yang terhubung dengan meter atau rele proteksi seperti pada Gambar 2.10

Pada sistem tenaga listrik yang berdaya besar diperlukan CT untuk merubah nilai nominal arus kuat menjadi nilai arus lemah, agar dapat terbaca oleh peralatan proteksi ataupun pengukuran (metering) lainnya. Peralatan proteksi pada umumnya hanya menerima nilai arus dengan dua nominal yaitu 0-1A (untuk kelas peralatan 1A) dan 0-5A (untuk kelas peralatan 5A).



**Gambar 2.10** Sirkuit Diagram Trafo Arus (CT)

## 2.4 Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

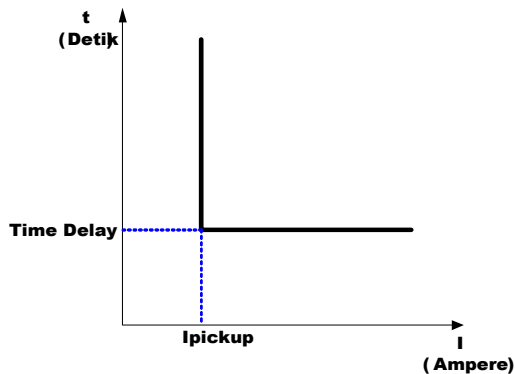
Rele arus lebih merupakan salah satu jenis rele yang sering digunakan dalam sistem tenaga listrik, untuk menagamakan (*overload*) gangguan beban lebih dan (*short circuit*) gangguan hubung singkat[8]. Prinsip kerja rele arus lebih ini berdasarkan besarnya arus masukan, apabila besarnya arus masukan melebihi suatu harga tertentu yang dapat diatur ( $I_f > I_{pp}$ ) maka rele akan bekerja. Sedangkan bila pada keadaan ( $I_f < I_{pp}$ ) maka rele tidak dapat bekerja.

Penggunaan rele arus lebih pada sistem kelistrikan industri harus di sesuaikan berdasarkan koordinasi rele yang telah di *setting* dengan benar. Agar saat terjadi gangguan rele ini dapat bekerja dengan cepat.

Saat mengatur rele arus lebih, tidak boleh bekerja pada saat beban maksimum. Arus *setting* harus melebihi dari pada arus beban maksimum. Rele arus lebih dapat melindungi beberapa bagian pada sistem tenaga listrik, seperti motor, transformator, jaringan transmisi, dan generator. Berdasarkan karakteristiknya rele arus lebih terbagi menjadi 3 yaitu, rele arus lebih instan, rele arus lebih invers, dan rele arus lebih waktu tertentu (definit).

#### 2.4.1 Rele Arus Lebih *Instant*

Rele arus lebih instan bekerja seketika tanpa ada waktu tunda. Rele ini biasa disebut dengan *Instantaneous Over Current Relay*. Rele ini bekerja saat arus yang mengalir melebihi nilai *setting*nya. Rele ini umumnya dikombinasikan dengan rele arus lebih lainnya, karena rele ini jarang berdiri sendiri. Rele ini biasanya disimbolkan dengan rele angka 50. Pada Gambar 2.11 merupakan karakteristik dari kurva rele arus lebih instan.

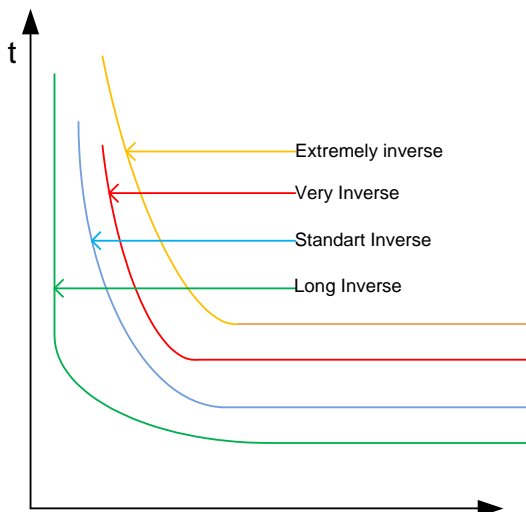


**Gambar 2.11** Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika

#### 2.4.2 Rele Arus Lebih *Inverse*

Rele arus lebih inverse memiliki waktu operasi yang berbanding terbalik dengan besarnya gangguan. Rele ini biasanya disebut dengan *Invers Time Delay Over Current Relay*. Semakin besar arus gangguan yang mengalir maka semakin cepat waktu operasi rele dalam memutus gangguan. Begitu juga sebaliknya, saat arus gangguan kecil, waktu operasi rele yang dibutuhkan juga semakin lama.

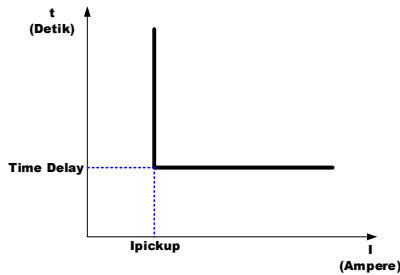
Dalam standar IEC 60255-3 dan BS 142, karakteristik dari waktu invers terbagi menjadi tiga tipe kurva proteksi. Tiga tipe kurva invers tersebut adalah *standard inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse*. Pada Gambar 2.12 merupakan kurva dari karakteristik waktu invers.



**Gambar 2.12** Karakteristik *Standard Inverse*, *Very Inverse* Dan *Extremely Inverse*

#### 2.4.3 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite*)

Rele arus lebih waktu tertentu ini bekerja sesuai dengan waktu tunda (*time delay*) yang telah ditentukan. Rele ini biasa disebut dengan *Definite Time Delay Over Current Relay*. Cara kerja rele ini apabila nilai gangguan melebihi dari *pickup set point* yang ditetapkan, maka rele ini akan bekerja untuk memutus gangguan pada waktu yang sama (*definite*). Pada Gambar 2.13 merupakan karakteristik dari rele arus lebih waktu tertentu, ketika ada arus gangguan yang melebihi *setting* dari *pickup set point*, maka arus gangguan langsung diputus oleh rele pengaman pada *time delay* yang ditentukan.



**Gambar 2.13** Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

## 2.5 Setting Rele Arus Lebih

### 2.5.1 Setting Rele Arus Lebih Instant

Rele arus lebih instan akan bekerja secara seketika jika ada arus lebih yang mengalir melebihi *setting* yang sudah ditetapkan. Untuk menentukan nilai *pickup instant* ini menggunakan besarnya arus hubung singkat dua fasa pada pembangkit minimum. Sehingga ditetapkan nilai *setting* arus *pickup instant* seperti pada persamaan 2.5.

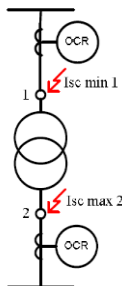
$$I_{set} \leq 0,8 I_{sc \text{ min}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan keterangan :

$I_{set}$  = nilai *setting* arus rele (Ampere)

$I_{sc \text{ min}}$  = nilai arus hubung singkat minimum (Ampere)

Dalam melakukan setting rele arus lebih seketika terdapat pertimbangan khusus pada pengaman feeder yang dipisahkan oleh sebuah transformator. Dapat dilihat pada Gambar 2.14 dibawah ini :



**Gambar 2.14** Rele Arus Lebih Pengaman Trafo



Persamaan yang digunakan dalam menentukan *setting pickup* adalah sebagai berikut :

$$I_{sc \text{ max bus 2}} \leq I_{set} \leq 0,8 I_{sc \text{ min}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Jika persamaan 2.6 terpenuhi maka *setting time delay* pada rele atas tranformator boleh kembali pada *time delay* 0,1 sekon.

### 2.5.2 *Setting Rele Arus Lebih Inverse*

Rele arus lebih inverse mempunyai batas minimal untuk *setting*, yaitu harus melebihi dari beban maksimum. Tujuannya, agar rele tidak bekerja saat kondisi beban maksimum dan dapat mengamankan peralatan tersebut. Menurut standar british BS 142 terdapat aturan faktor pengali arus beban penuh ketika *setting* rele yaitu  $1,05 I_{FLA} - 1,4_{FLA}$ . Dalam rele arus lebih *inverse* terdapat setelan *pickup* dan setelan *time dial*. Untuk memilih nilai *pickup*, ditentukan terlebih dahulu *setting tap*. Adapun cara untuk mencari besaran nilai tap adalah dengan menggunakan persamaan 2.7.

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT \text{ primary}} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan keterangan :

$I_{set}$  = arus pickup (Ampere)

Dalam *setting time dial* berfungsi untuk menentukan waktu rele saat bekerja. Untuk menentukan *time dial* terdapat beberapa perbedaan koefisien di setiap masing-masing kurva karakteristik invers rele arus lebih pada setiap pabrik. Dalam tugas akhir ini , pada PT Petro Oxo Nusantara Gresik rele yang digunakan merupakan produk Scheneider dari *manufacture* Merlin Gerlin dengan tipe SEPAM 1000 dan SEPAM 2000. Berikut ini adalah persamaan yang digunakan rele SEPAM dalam menentukan Time Dial.

- Standard Inverse

$$t = \left( \frac{0,14}{(M^{0,02}-1)} \right) \times \frac{T}{2,97} \dots\dots\dots(2.8)$$

- Very Inverse

$$t = \left( \frac{13,5}{(M^1 - 1)} \right) \times \frac{T}{1.5} \dots\dots\dots (2.9)$$

- Extremely Inverse

$$t = \left( \frac{80}{(M^2 - 1)} \right) \times \frac{T}{0,808} \dots\dots\dots (2.10)$$

- Ultra Inverse

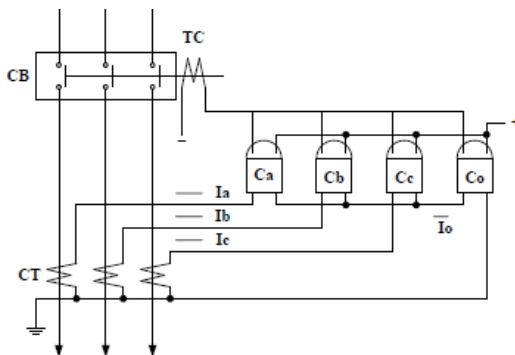
$$t = \frac{315}{(1/Iset)^{2,5} - 1} \times T \dots\dots\dots (2.11)$$

Dengan keterangan :

- t = waktu operasi (detik)  
 T = time dial  
 M = I/ Iset  
 Iset = arus *pickup* (Ampere)  
 I = nilai arus (Ampere)

## 2.6 Ground Fault Relay (Rele Gangguan ke Tanah)

Rele gangguan ke tanah bekerja saat arus urutan nol melewati rele tersebut. Rele ini akan mendeteksi dan memberi sinyal kepada pemutus untuk mengisolir rangkaian yang mengalami gangguan ke tanah. Skema dari rangkaian rele ground fault dapat dilihat pada Gambar 2.15.



**Gambar 2.15** Rangkaian *Ground Fault Relay* [5]

Keterangan :

CB	= <i>Circuit Breaker</i>
TC	= <i>Trip Coil CB</i>
Ia,Ib,Ic	= Arus yang mengalir pada rele fasa
Io	= Arus urutan nol
CT	= Trafo Arus
Ca,Cb,Cc	= Rele arus lebih fasa

Pada Gambar 2.15 Dapat terlihat untuk pemasangan rele *ground fault* digunakan bersamaan dengan rele arus lebih fasa. *Setting* rele ini terdiri dari *setting* arus dan waktu. Dalam *setting* arus dibuat lebih tinggi dari *line charging* sistem. Jenis kurva yang digunakan untuk rele ini adalah *definite*, dimana berapapun arus gangguan urutan nol yang mengalir pada rele, rele akan bekerja sesuai dengan waktu yang ditentukan. Arus *pick up* harus diatur agar rele dapat mendeteksi arus gangguan sekecil apapun.

## 2.7 Definisi Busur Api

Dalam medesain sistem proteksi, harus melihat beberapa akibat saat terjadi gangguan di suatu sistem. Salah satunya yaitu bahaya *arch flash* (busur api). *Arch flash* atau *arch blast* (busur api) merupakan peristiwa yang terjadi karena adanya aliran arus yang mengalir diudara antara konduktor dari fasa ke fasa, fasa ke *ground*, atau dari beda fasa ke *ground* [10]. Adanya busur api akan menimbulkan radiasi panas disekitarnya hingga mencapai *temperature* 35,000 °F . Terjadinya busur api ini, juga diikuti oleh kilatan cahaya yang dapat mengganggu penglihatan dan bahkan juga dapat merusak mata seseorang. Selain itu, busur api juga dapat menghasilkan ledakan yang sangat keras serta dapat menyebabkan luka bakar bagi pekerja yang terpapar didaerah kejadian.

Penyebab utama terjadinya *arch flash* adalah karena kesalahan manusia dalam bekerja dan juga kegagalan sistem listrik. Salah satu kesalahan para pekerja yang sering terjadi adalah menaruh peralatan listrik (ex : obeng, tang, dll) pada konduktor yang sedang teraliri listrik. Selain itu lingkungan untuk perlengkapan peralatan listrik haruslah dijaga kebersihannya dari debu, korosi, binatang, dll. Untuk mengurangi besarnya energi dari *arch flash* , menurut standart NFPA 70E ada beberapa cara dalam hal itu yaitu mengurangi arus *short circuit* , mengatur ukuran trafo, memperbesar impedansi trafo, dan juga memperbesar resistansi *ground* pada sistem tegangan rendah. Besarnya energi busur api juga tergantung pada seberapa cepat system

pengamanan bekerja saat ada gangguan hubung singkat. Semakin cepat circuit breaker bekerja semakin kecil pula busur api yang dihasilkan. Dalam menyempurnakan koordinasi sistem proteksi, perlu memperhatikan bahaya dari adanya *arc flash* atau busur api yang mungkin bisa terjadi. Secara sederhana, busur api sendiri dapat didefinisikan sebagai kondisi berbahaya yang berhubungan dengan pelepasan energi disebabkan oleh adanya busur listrik .

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi besarnya energi *arc flash* yaitu besarnya level tegangan, seberapa jauh jarak antar konduktor, dan juga seberapa cepat waktu rele dalam menghilangkan gangguan tersebut. Pada setiap *switchgear* harus diketahui berapa besarnya energi busur api yang terjadi, hal ini bertujuan untuk memberikan peringatan kepada para pekerja maupun orang yang disekitar area bahaya.

**2.8 Perhitungan Energi Busur Api Menggunakan Standart IEEE 1584 – 2002**

Dalam mencari nilai dari energi busur api, hal pertama yang harus diperhitungkan adalah mencari dulu nilai dari arus *arcing fault*. Persamaan untuk menghitung arus arcing faul terbagi menjadi 2 bagian. Yang pertama untuk level tegangan kurang dari 1kV dan yang kedua unruk level tegangan 1kV – 15kV.

Persamaan arus *arcing fault* untuk level tegangan kurang dari 1kV dapat dilihat pada persamaan 2.8

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf}) \dots\dots\dots (2.12)$$

Sementara untuk level tegangan 1kV – 15kV, persamaan arus arcing fault dapat dilihat pada persamaan 2.9

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \lg I_{bf} \dots\dots\dots (2.13)$$

Persamaan dari *Ia* sendiri adalah :

$$I_a = 10^{\lg I_a} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dengan keterangan :

- $\lg$  =  $\log_{10}$   
 $I_a$  = arus arcing (kA)  
 $K$  = konstanta untuk konfigurasi terbuka = -0,153 dan konstanta untuk konfigurasi box = -0,097  
 $\lg I_{bf}$  = bolted fault current pada gangguan tiga fase (symmetrical RMS) (kA)  
 $V$  = tegangan sistem (kV)  
 $G$  = jarak celah antar konduktor (mm)

Selanjutnya setelah mendapatkan nilai *arcing current* , menghitung nilai *incident* energi. Dalam perhitungan besar energi normal, menggunakan refrensi waktu *arching* dengan durasi 0,2 detik dan jarak dari titik *arching* ke manusia sebesar 610 mm. Persamaan *incident* energi dapat dilihat pada persamaan 2.15.

$$\lg E_n = K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G \dots \dots \dots (2.15)$$

Dengan keterangan :

- $E_n$  = *incident* energi *normalized* (J/cm<sup>2</sup>)  
 $K1$  = -0,792 untuk konfigurasi terbuka (*no enclosure*)  
           -0,555 untuk konfigurasi *box* (*enclosed equipment*)  
 $K2$  = 0 untuk sistem *ungrounded* and *high-resistance grounded*  
           -0,113 untuk sistem *grounded*  
 $G$  = jarak/celah antar konduktor (mm)

Untuk mendapatkan nilai  $G$  (jarak antar konduktor) dapat dilihat pada Tabel 2.1. Besarnya jarak konduktor berdasarkan dari jarak real yang ada pada PT Petro Oxo Nusantara Gresik.

**Tabel 2.1** Tabel Data Jarak Celah *Bus* (Jarak Bus)

Kelas Peralatan	Jarak celah antar konduktor (mm)
<i>&gt;15 kV Switchgear</i>	-
<i>6 kV Switchgear</i>	200
<i>Low voltages MCCs and panelboards</i>	130

Setelah itu besar energi  $E_n$  dapat diketahui dengan :

$$E_n = 10^{\lg E_n} \dots\dots\dots (2.16)$$

Setelah nilai  $E_n$  diketahui, untuk menghitung besar insiden energi E digunakan persamaan :

$$E = 4,184 C_f E_n \left( \frac{t}{0,2} \right) \left( \frac{610^x}{D^x} \right) \dots\dots\dots (2.17)$$

Dengan persamaan :

- E = *incident* energi (J/cm<sup>2</sup>)
- $C_f$  = faktor pengali
  - 1,0 untuk tegangan diatas 1kV, dan
  - 1,5 untuk tegangan dibawah 1kV
- $E_n$  = *incident* energi *normalized*
- $T$  = waktu *arcing* (detik)
- $D$  = jarak kerja (mm)
- $X$  = jarak *exponent*

Pada level tegangan diatas 15 kV, jarak anatar konduktor diluar batasan dari model, sehingga menggunakan Metode Lee untuk menentukan energi insidenya.

$$E = 2,142 \times 10^6 x V x I_{bf} \left( \frac{t}{D^2} \right) \dots\dots\dots (2.18)$$

Dengan persamaan :

- E = *incident* energi (J/cm<sup>2</sup>)
- V = tegangan sistem (kV)
- $I_{bf}$  = *bolted fault current* (kA)
- $t$  = waktu *arcing* (detik)
- $D$  = jarak kerja (mm)

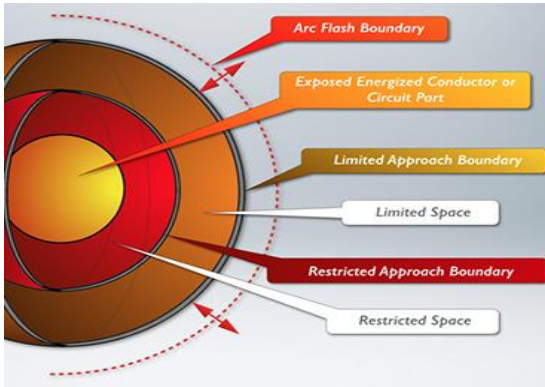
Untuk melengkapi parameter-parameter dalam menghitung besarnya insiden energi dapat dilihat pada Tabel 2.2. dalam tabel tersebut terdapat jarak eksponen (x), dan jarak kerja (D).

**Tabel 2.2** Tabel Data Parameter-Parameter yang Dibutuhkan Untuk Perhitungan Insiden Energi [11]

Level Tegangan (kV)	Jenis Peralatan	Jarak eksponent	Jarak kerja ( mm )
0,208 – 1	<i>Open air</i>	2	-
	<i>Switchgear</i>	1,473	455
	<i>MCC and panels</i>	1,641	455
	<i>Cable</i>	2	455
> 1 – 5	<i>Open air</i>	2	-
	<i>Switchgear</i>	0,973	610
	<i>Cable</i>	2	455
>5 – 15	<i>Open air</i>	2	-
	<i>Switchgear</i>	0,973	910
	<i>Cable</i>	2	455

## 2.9 Jarak Aman Pelindung (*Flash Protection Boundary*)

Jarak aman pelindung atau biasa disebut dengan *flash protection boundaries* dalam standar NFPA 70E-2009 merupakan sebuah pendekatan mengenai batas dimana seseorang akan menerima luka bakar tingkat dua ,jika seseorang terkena busur api. Terdapat beberapa zona dalam insiden busur api. Bila dibayangkan dalam bentuk bola yang berlapis, lapisan bola paling dalam merupakan zona yang sangat berbahaya. Jika seseorang berada dalam zona paling dalam tersebut, maka ia akan terpapar busur api dan mengalami luka bakar tingkat dua. Definisi lain dari *flash protection boundaries* adalah tingkatan *incident energi* dalam jumlah energi pada permukaan dan jarak tertentu dari sumber yang dihasilkan selama busur api berlangsung. Pada Gambar 2.16 merupakan lapisan – lapisan dari *flash protection boundaries*.



**Gambar 2.16** *Flash Protection Boundaries*

Penjelasan bagian – bagian *flash protection boundaries*, adalah :

- *Limit approach boundary*: batas pendekatan pada jarak dari bagian bertegangan di mana terdapat bahaya sengatan listrik
- *Restricted approach boundary*: batas pendekatan pada jarak dari bagian bertegangan di mana ada peningkatan risiko *shock*, karena busur listrik gerakan yang tidak disengaja dari karyawan yang bekerja di dekat bagian tersebut
- *Prohibited approach boundary*: batas pendekatan pada jarak dari peralatan langsung. Bekerja dibagian ini dianggap sama dengan membuat kontak dengan bagian bertegangan.
- *Flash protection boundary*: batas pendekatan pada jarak dari bagian terbuka di mana seseorang bisa menerima tingkat dua terbakar jika busur api terjadi.

*Flash protection boundary* dapat dihitung menggunakan persamaan (2.19) :

$$D_B = \left[ 4.184 C_f E_n \left( \frac{t}{0.2} \right) \left( \frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dengan Keterangan:

- $D_B$  = batas jarak dari titik busur api (mm)  
 $C_f$  = faktor perhitungan (1.0 untuk tegangan di atas 1 kV, 1.5 untuk tegangan di bawah atau sama dengan 1 kV)  
 $E_n$  = energi insiden normal  
 $E_B$  = energi insiden dalam  $J/cm^2$  pada batas jarak



$t$  = waktu (detik)  
 $x$  = jarak exponen  
 $I_{bf}$  = *bolted fault current* (kA)

$E_B$  dapat disetting  $5.0 \text{ J/cm}^2$  untuk *bare skin (no hood)* atau rating dari PPE yang diajukan ( $5.0 \text{ J/cm}^2 = 1.2 \text{ cal/cm}^2$ )

## 2.10 Pengelompokan Tingkatan Energi Busur Api terhadap PPE( *Personal Protective Equipment*)

Setelah dilakukan perhitungan energi busur api pada setiap bus. Selanjutnya adalah pengelompokan perlengkapan keselamatan yang harus digunakan pada setiap orang saat memasuki area tersebut (*workers*). Kategori ini berdasarkan dari besarnya energi yang dihasilkan serta dampak yang ditimbulkan bagi tubuh manusia. Hal ini sesuai dengan standart NFPA 70E – 2009. Dimana standart tersebut memberikan kategori insiden energi serta dampak yang akan diterima seseorang bila terpapar busur api. NFPA 70E – 2009 juga menyertakan peralatan yang harus diperlukan atau digunakan ketika seseorang berada pada zona yang berpotensi terjadi busur api. Pada Tabel 2.3 merupakan tabel PPE sesuai dengan standart NFPA 70E – 2009 :

**Tabel 2.3** *Personal Protective Equipment*

Kategori Resiko Bahaya	Nilai Insiden Energi (E) maksimal ( $\text{Cal/cm}^2$ )	Perlengkapan Perlindungan
0	2	• Pelindung Mata
		• Pelindung Telinga
		• Kemeja Lengan Panjang
		• Celana Panjang
		• Pelindung Mata
1	4	• Pelindung Mata
		• Pelindung Telinga
		• Kemeja Lengan Panjang
		• Celana Panjang
2	8	• Flash Suit Hood
		• Pelindung Wajah dan Kepala
		• Pakaian Tahan Api

Kategori Resiko Bahaya	Nilai Insiden Energi (E) maksimal (Cal/cm <sup>2</sup> )	Perlengkapan Perlindungan
		• Pelindung Mata
		• Pelindung Telinga
3	25	• Flash Suit Hood
		• Pelindung Wajah dan Kepala
		• Pakaian Tahan Api
		• Pelindung Mata
		• Pelindung Telinga
		• Celana Panjang
4	40	• Up to 40 cal/cm <sup>2</sup> Flash Suit Hood
		• Pelindung Wajah dan Kepala
		• Pakaian Tahan Api
		• Pelindung Mata
		• Pelindung Telinga
		• Celana Panjang

----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

## **BAB III**

### **SISTEM KELISTRIKAN PT. PETRO OXO NUSANTARA GRESIK**

#### **3.1 Seputar PT. Petro Oxo Nusantara Gresik**

PT. Petro Oxo Nusantara (PON) adalah perusahaan petrochemical yang memproduksi bahan kimia organik yang disebut *octanol*. *Octanol* merupakan bahan baku dari pembuatan *plastizier Di Octyl Phytalate* (DOP). *Octanol* ini dibuat dari *propylene* dan gas *synthesis* campuran antara *Carbon Monoxide* dengan gas *hydrogen*. Pembuatan *octanol* ini mempunyai perbandingan 1:1 melalui proses kondensasi suatu *Aldol Butyradehyde*, selanjutnya setelah proses kondensasi diteruskan dengan proses hidrogenisasi.

PT. PON menggunakan teknologi Mitsubushi *Chemical Coorporation* dari jepang. Sedangkan untuk kontruksi dikerjakan oleh Mitsubisi *Heavy Industries Limited*. Hasil dari produksi PT PON ini mampu menghasilkan *octanol* (*2 Ethyl Hexanol*) sebesar 100,000 metrik ton pertahun. Untuk produk sampingnya yaitu *Normal Butanol* (NBA) dan *Iso Butanol* (IBA) mampu menghasilkan 20,000 dan 13,000 metrik ton per tahunnya.

Bahan baku pembuatan produk pada PT PON terdiri dari dua bagian yaitu bahan utama, bahan penunjang dan katalis, bahan utama dari produk yang dihasilkan antara lain :

1. Natural gas, diperoleh dari PT Perusahaan Gas Negara melalui saluran perpipaan. Natural gas dipakai sebagai bahan baku dalam unit *syn*
2. Gas hidrogen diperoleh dan *plant syn* gas sebagai salah satu produknya yaitu bagian *PSA -membrane*, dimana hidrogen ini nantinya akan digunakan dalam proses hidrogenasi untuk pembuatan *2 Ethyl Hexanol*, *I butanol* dan *N- Butanol*.
3. Gas Oxo adalah campuran antara gas hidrogen dengan karbon Monoksida. Gas Oxo ini memiliki perbandingan 1:1 yang juga merupakan produk dari *plant syn gas*.
4. Gas *Propylene*.

Sedangkan bahan penunjang dari PT. PON terdiri dari *Toluena*, *iso propanel*, *mono ethanol Amine* (MEA), *Potasium Anthirnoni Tarirat*, *Tartaric Acid*, *cation polimer*, *Anion Polimer*, *Urea*, *Di-A monium*

*Phosphate, Sodium metavanade,de, Tri-Soc Phosphate, Sodium hypo chlorite, Anti foom, Caustic Soda, Sulfuric Acid dan Di-Sodium Phosphate.*

Macam-macam katalis untuk percepatan reaksi pembuatan produk pada PT PON adalah *Radium catalyst, Hydrogenation catalyst, Tri Phenil Phosphine (TPP), Reforming catalyst, H Absorption catalyst* dan *Puraspac Catalyst*.

### **3.2 Sistem Kelistrikan PT. Petro Oxo Nusantara Gresik**

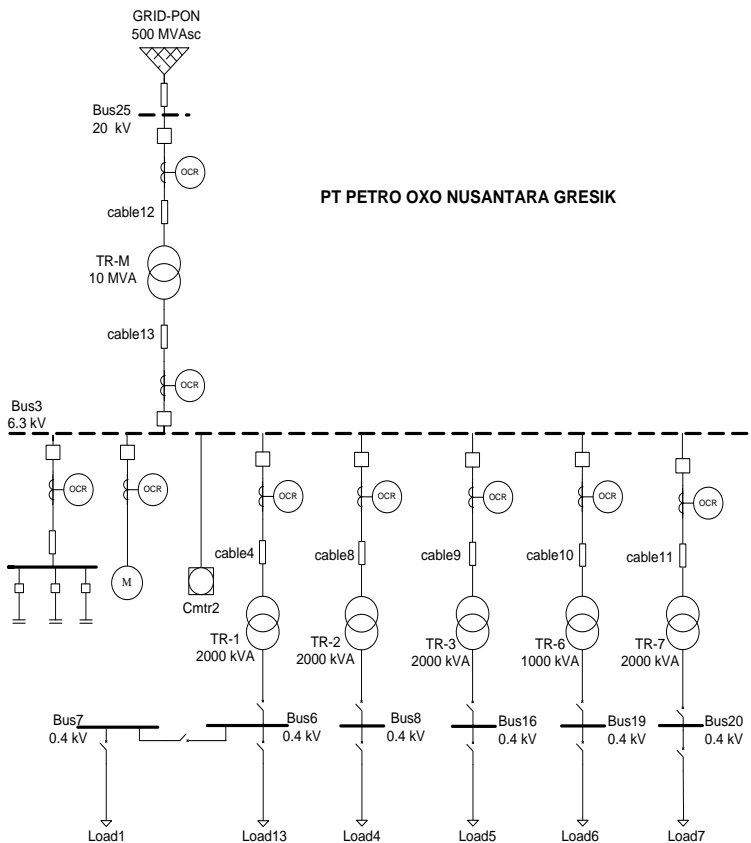
Sistem kelistrikan pada PT Petro Oxo Nusantara (PON) Gresik menggunakan PLN sebagai sumber tenaga listrik untuk melayani kebutuhan *supply* daya listrik. PT PON mendapatkan suplai tenaga listrik yang dilewatkan melalui PT Petro Kimia Gresik dengan tegangan 150 kV diturunkan menjadi 20 kV. Dari tegangan 20 kV diturunkan dengan transformator *step down* menjadi 6,3 kV dan didistribusikan ke pusat-pusat beban yang ada pada PT. PON.

Tegangan 6,3 KV digunakan untuk motor diatas 150 KW dan diturunkan ke tegangan 400 V melalui Trafo 1(TR1), Trafo 2(TR2), Trafo 3(TR3), Trafo 6(TR6) dan Trafo 7 (TR 7). TR1 merupakan trafo yang dimanfaatkan untuk kebutuhan utility, dimana MSS (*Main Sub Station*) terletak pada MCC (*Motor Control Center*) 1A dan MCC (*Motor Control Center*) 1B. TR2 untuk kebutuhan proses 1 dimana pada LSS (*Local Sub Station*) terletak pada MCC (*Motor Control Center*) 2, TR3 untuk kebutuhan proses 2 dimana LSS (*Local Sub Station*) terletak pada MCC(*Motor Control Center*) 3 dan TR6 untuk kebutuhan syngas yaitu pada LSS yang terletak pada MCC 4. Terakhir TR-7, transformator ini tergolong baru dan digunakan untuk kebutuhan syngas (CO<sub>2</sub> atau MCC 5).

Untuk menbackup saat terjadi pemadaman dari PLN, disediakan EDG (*Emergency Diesel Generator*) dengan kapasitas 750 KVA. EDG ini akan mensupply MCC (*Motor Control Center*) 1 A yang digunakan untuk menghidupkan peralatan vital yang tidak boleh padam meskipun *supply* dan PLN padam, seperti untuk *proses power system control*, untuk kompresor udara instrument, peralatan komunikasi dan penerangan (*lighting*).

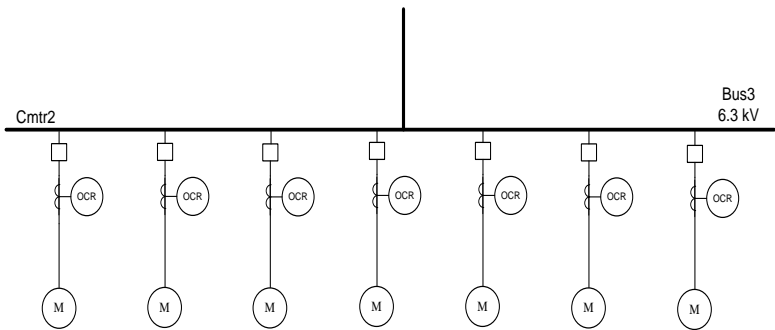
Generator merupakan salah satu sumber tenaga listrik yang banyak dipergunakan oleh industri dalam hal ini generator AC tiga fasa atau alternator. Penggunaannya akan disesuaikan dengan sistem sinkronisasi dengan PLN. Parameter yang dipergunakan adalah

tegangan urutan fasa pada system tiga fasa, beda fasa dan frekuensinya. Pada PT PON pengecekan keadaan sinkron digunakan pada system EDG, setelah kondisi gangguan PLN yang menyebabkan EDG running, sebelum menggunakan PLN lagi perlu dilakukan sinkronisasi antara listrik yang dibangkitkan EDG dengan listrik dan PLN, hal ini untuk menjaga kontinuitas pelayanan listrik pada MCC- 1 A. Untuk memperjelas sistem kelistrikan PT. PON dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 yang merupakan *Singe Line Diagram* PT. PON.



**Gambar 3.1** Single Line Diagram PT. Petro Oxo Nusantara Gresik

Berikut ini merupakan gambar komposit yang ada pada SLD (*Single Line Diagram*) PT Petro Oxo Nusantara Gresik.



**Gambar 3.2** Komposit (Cmtr2) PT. Petro Oxo Nusantara Gresik.

### 3.3 Sistem Distribusi PT. Petro Oxo Nusantara Gresik

Sistem distribusi pada PT. Petro Oxo Nusantara Gresik menggunakan sistem radial dengan tegangan bus utama 6,6 kV dan 0,4 kV untuk tegangan rendah. Pada sistem kelistrikan PT. Petro Oxo Nusantara Gresik ditunjang dengan beberapa transformator sebelum masuk ke beban untuk menurunkan tegangan 6,6 kV menjadi tegangan rendah 0,4 kV. Tabel 3.1 merupakan data bus dan Tabel 3.2 merupakan data transformator daya yang ada di PT. Petro Oxo Nusantara Gresik.

**Tabel 3.1** Data bus

No	Bus ID	Nominal kV
1	Bus 25	20
2	Bus Cap Bank	6,3
3	Bus 3	6,3
4	Bus 6	0,4
5	Bus 7	0,4
6	Bus 8	0,4
7	Bus 16	0,4
8	Bus 19	0,4
9	Bus 20	0,4

**Tabel 3.2** Data Trafo

No	ID	MVA	Tegangan (kV)		%Z	X/R
			Primer	Sekunder		
1	TR-1	2	6	0,38	5,75	7,1
2	TR-2	2	6	0,38	5,75	7,1
3	TR-3	2	6	0,38	5,75	7,1
4	TR-6	1	6	0,38	5,75	5,79
5	TR-7	2	6	0,38	5,75	7,1
6	TR M	10	20	6,3	6,5	15,50

### 3.4 Beban pada PT. Petro Oxo Nusantara Gresik

Ada beberapa beban motor yang digunakan untuk menunjang kegiatan operasi pada PT. Petro Oxo Nusantara Gresik. Motor yang digunakan kebanyakan menggunakan motor induksi. Pada Tabel 3.3 ditunjukkan beberapa beban motor yang terdapat di PT. Petro Oxo Nusantara Gresik :

**Tabel 3.3** Data Motor di PT. Petro Oxo Nusantara Gresik

No	ID	Rating	kVA	kV	FLA	RPM
1	B-011	260 KW	306	6.6	26.75	1242
2	B-012	260 KW	304	6.6	26.59	1499
3	C-008	480 KW	49.05	6.6	49.05	1499
4	C-011/018	2050 KW	2657	6.6	232.4	307
5	C-012	220 KW	309	6.6	27.02	375
6	C-412	570 KW	724	6.6	63.32	375
7	P-411 A	155 KW	179	6.6	15.64	2998
8	P-411 B	155 KW	179	6.6	15.64	2998
9	P-751 A	260 KW	304	6.6	26.59	1499
10	P-941 A	285 KW	337	6.6	29.48	750
11	P-941 B	285 KW	337	6.6	29.48	750



----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

## **BAB IV**

### **HASIL SIMULASI DAN ANALISA KOORDINASI PROTEKSI DAN BUSUR API PADA PT. PETRO OXO NUSANTARA GRESIK**

#### **4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan PT. PON**

Pada bab ini akan dibahas mengenai simulasi dan hasil analisis pada sistem kelistrikan PT. PON Gresik. Untuk pemodelan sistem kelistrikan PT. PON dilakukan dengan menggambar single line diagram pada *software* ETAP 12.6. dalam membuat *single line diagram* dibutuhkan data eksisting peralatan seperti data motor, trafo, PLN, bus, dan rele. Setelah mengetahui data – data tersebut, didapatkan hasil analisis aliran daya dan koordinasi proteksi pada kondisi eksisting. Langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi hubung singkat tiga fasa dan hubung singkat antar fasa yang bertujuan untuk mengetahui besar arus yang melewati tiap bus saat pada pembebanan maksimum dan juga menganalisa bahaya busur api yang dilakukan dengan mensimulasikan busur api untuk mengetahui nilai insidem energi yang terjadi, kategori *personal protective equipment*, jarak aman perlindungan dan rekomendasi untuk mengurangi bahaya busur api. Setelah mensimulasikan *short circuit* (hubung singkat) dilakukan pemilihan rele pengaman.

#### **4.2 Pemilihan Tipikal Koordinasi Proteksi Sistem Kelistrikan Pada PT. PON Gresik**

Pemilihan tipikal ini bertujuan untuk mempermudah dalam melakukan *setting* koordinasi rele arus lebih. Pada koordinasi pengaman arus lebih PT. PON dipilih 2 tipikal yang mewakili keseluruhan sistem. Tipikal – tipikal tersebut dipilih berdasarkan saluran terpanjang , saluran terpendek, dan beban terbesar pada sistem kelistrikan di PT. PON. Dua tipikal tersebut antara lain :

1. Tipikal 1 : Tipikal 1 merupakan tipikal dengan saluran terpendek untuk sistem koordinasi rele pengaman arus lebih fasa pada PT Petro Oxo Nusantara Gresik dengan beban motor yang paling besar yaitu 2050 kW . Tipikal ini dimulai dari beban motor C-011 menuju ke sumber *grid* dari PLN sebesar 20 kV, melalui saluran *cable* 2, *cable* 13, dan *cable* 1 dan juga melewati trafo *step down* 10 MVA pada *power plant* tersebut.

Tipikal ini terdiri dari dua level tegangan, yaitu 20 kV dan 6,3 kV. Pada tipikal ini terdapat 3 rele pengaman yang dikoordinasikan yaitu R-CB Out20kV, R-CB Inc6kV, dan R-GCB1. Pemilihan tipikal ini berdasarkan belum pernah dilakukan *setting* koordinasi rele.

2. Tipikal 2 : Tipikal 2 merupakan tipikal dengan saluran terpanjang untuk sistem koordinasi rele pengaman arus lebih fasa pada PT Petro Oxo Nusantara Gresik. Tipikal ini dimulai dari beban static load 4 menuju ke sumber *grid* PLN sebesar 20 kV, melalui saluran *cable* 1, *cable* 13, dan *cable* 8 dan juga melewati trafo *step down* 10 MVA setelah itu juga melewati trafo *step down* 2 MVA pada *power plant* tersebut. Tipikal ini terdiri dari tiga level tegangan, yaitu 20 kV, 6,3 kV, dan 400 V. Pada tipikal ini terdapat 3 rele pengaman yang dikoordinasikan yaitu R-CB Out20kV, R-CB Inc6kV, dan R-GCB 3. Dan dilengkapi pengaman ACB serta MCCB. Pemilihan tipikal ini berdasarkan belum pernah dilakukan *setting* koordinasi rele.

### **4.3 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat**

Untuk mengatur rele pengaman arus lebih perlu dilakukan analisis gangguan hubung singkat disetiap bus pada tipikal yang telah dipilih. Gangguan hubung singkat yang digunakan yaitu arus gangguan minimum dan arus gangguan maksimum. Nilai arus hubung singkat minimum adalah saat terjadi gangguan hubung singkat 2 fasa, yaitu gangguan pada saat 30 *cycle*. Sedangkan untuk arus gangguan maksimum adalah ketika terjadi gangguan 3 fasa, pada saat 4 *cycle*. Analisa hubung singkat maksimum cukup dilakukan pada 4 *cycle*. Nilai gangguan tersebut digunakan untuk *mensetting* rele arus lebih.

#### **4.3.1 Analisa Hubung Singkat Minimum**

Untuk *mensetting* rele pengaman arus lebih digunakan nilai arus hubung singkat 2 fasa pada saat 30 *cycle*. Hal ini digunakan untuk membatasi *setting* arus sebagai batasan *pickup* rele arus lebih *instant*. Sehingga saat terjadi hubung singkat minimum rele tersebut langsung bekerja sesuai *time delay* yang telah ditentukan. Pada simulasi gangguan hubung singkat minimum dilakukan di setiap bus dalam sistem kelistrikan di PT. PON. Pada Tabel 4.1 merupakan hasil simulasi dari arus gangguan 30 *cycle*.

**Tabel 4.1** Data Hubung Singkat Minimum 30 *Cycle*

No	Arus Kontribusi	Tegangan (kV)	Isc Minimum 30 <i>cycle</i> (kA)
1	Out 20 kV	20.5	9.19
2	Inc 6 kV	6.3	8.62
3	GCS Cap Bank	6.3	8.57
4	GCB 1	6.3	8.36
5	GCS 1	6.3	7.76
6	GCB 2	6.3	8.56
7	GCB 3	6.3	8.16
8	GCB 4	6.3	8.2
9	GCB 5	6.3	8.07
10	GCB 6	6.3	7.31
11	ACB 3	0.4	31.83
12	ACB 4	0.4	31.48
13	ACB 5	0.4	31.51
14	ACB 6	0.4	22.81
15	ACB 7	0.4	26.19

#### 4.3.2 Analisa Hubung Singkat Maksimum

Arus hubung singkat maksimum adalah arus hubung singkat 3 fasa pada saat 4 *cycle*, digunakan hubung singkat ketika 4 *cycle* karena rele arus lebih akan bekerja saat 3-5 *cycle*. Arus hubung singkat maksimum digunakan untuk membatasi arus hubung singkat terbesar yang mungkin terjadi. Arus hubung singkat maksimum saat 4 *cycle* digunakan untuk *setting* rele arus lebih dengan *time delay* antara 0,08 sekon sampai 0,5 sekon. Hasil simulasi hubung singkat maksimum dapat dilihat pada Tabel 4.2 di bawah ini :

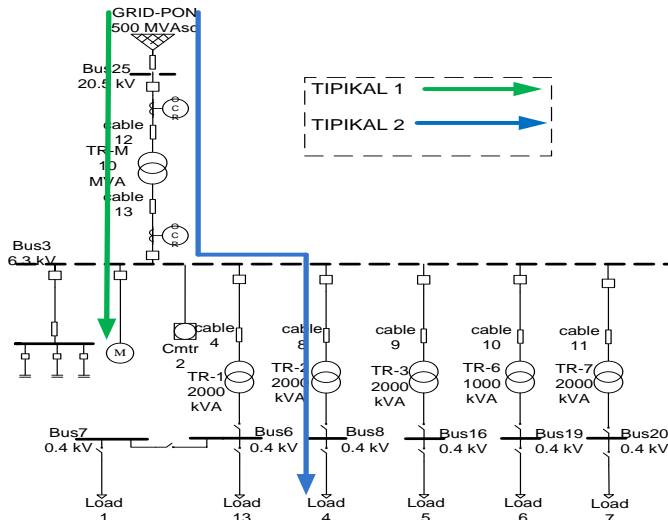
**Tabel 4.2** Data Hubung Singkat Maksimum 4 *Cycle*

No	Arus Kontribusi	Tegangan (kV)	Isc Maksimum 4 <i>cycle</i> (kA)
1	Out 20 kV	20.5	11.09
2	Inc 6 kV	6.3	10.07
3	GCS Cap Bank	6.3	11.3
4	GCB 1	6.3	10.31
5	GCS 1	6.3	10.32
6	GCB 2	6.3	11.29
7	GCB 3	6.3	10.82
8	GCB 4	6.3	10.86
9	GCB 5	6.3	10.71
10	GCB 6	6.3	9.75
11	ACB 3	0.4	37.87
12	ACB 4	0.4	37.52
13	ACB 5	0.4	37.55
14	ACB 6	0.4	26.96
15	ACB 7	0.4	31.12

#### **4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa**

Dalam koordinasi rele arus lebih gangguan fasa *setting* masing – masing rele pada setiap peralatan harus bekerja sesuai dengan *setting* waktu yang telah ditentukan. Koordinasi ini berfungsi untuk gangguan arus lebih fasa saja. Gangguan tersebut adalah *short circuit* dan *over load*. Untuk mendesain koordinasi proteksi yang baik dan benar akan menjamin kontinuitas pada proses industri. Pada koordinasi rele arus lebih dilakukan *setting* arus dan waktu pada rele arus lebih (50/51). Sesuai standart IEEE 242, *grading time* untuk rele digital adalah 0,2 sampai 0,3 detik. Setelah dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai *pick up low set*, *pick up high set*, *time delay* dan *time dial*, selanjutnya kurva koordinasi tipikal *diplot* pada *Star-Protective Device*

*Coordination. Plotting* ini bertujuan untuk melihat *time current curve*, apakah koordinasi rele telah tepat atau belum. Rele pengaman juga memperhatikan arus kontribusi yang melewati ke peralatan yang akan di proteksi dan arus pengisian (*inrush current*) pada trafo. Pada Gambar 4.1 merupakan uraian tipikal yang ada pada *single line diagram* PT.PON.

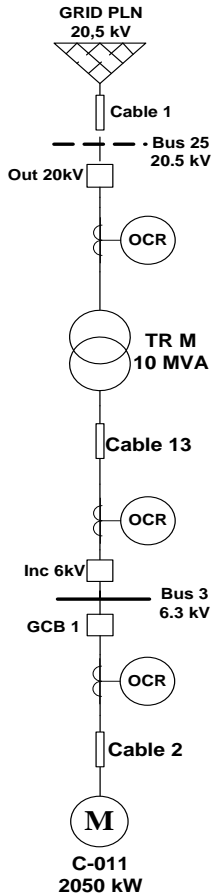


**Gambar 4.1** *Single Line Diagram* Tipikal PT. Petro Oxo Nusantara

#### 4.4.1 Kordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 1

Tipikal 1 merupakan tipikal dengan saluran terpendek untuk sistem koordinasi rele pengaman arus lebih fasa pada PT. Petro Oxo Nusantara Gresik dengan beban motor yang paling besar. Tipikal ini dimulai dari beban motor C-011 menuju ke sumber grid dari PLN sebesar 20 kV, melalui saluran *cable 2*, *cable 13*, dan *cable 1* dan juga melewati trafo *step down* 10 MVA pada *power plant* tersebut. Tipikal ini terdiri dari dua level tegangan, yaitu 20 kV dan 6,3 kV.

Koordinasi rele arus lebih tipikal 1 pada kondisi eksisting ini mengkoordinasikan rele R-CB Out20kV, R-CB Inc6kV, dan R-GCB1. Koordinasi rele arus lebih Tipikal 1 pada kondisi eksisting dipresentasikan melalui Gambar 4.2 di bawah ini :



**Gambar 4.2** *Single Line Diagram* Tipikal 1

Sebelum melakukan *resetting* rele pengaman, perlu dilakukan analisa pada kurva TCC (*Time Current Curve*). Apakah *setting* kurva rele pengaman telah sesuai dengan standar IEEE 242. Untuk menganalisa kurva TCC, perlu dilakukan *plotting* pada *Single Line Diagram* Tipikal 1 saat kondisi eksisting. Gambar 4.3 merupakan *Time Current Curve* dari Tipikal 1.





*grading time* ( $\Delta t$ ) dari rele Outgoing 20 kV dan rele Incoming 6 kV tidak sesuai dengan standart IEEE 242. Yang mana perbedaan waktu minimum rele digital berbasis mikroprosesor ( $\Delta t$ ) menurut IEEE 242 yaitu antara 0,2 – 0,3 detik, sedangkan  $\Delta t$  kedua rele tersebut sebesar 0,2 s – 0,17 s = 0,03 s. Hal ini tidak diperbolehkan dalam mensetting koordinasi proteksi, karena dikhawatirkan kedua rele akan bekerja secara bersamaan.

Dari Gambar 4.3 dapat dilihat pula untuk rele Incoming 6 kV dan rele Outgoing 20kV arus *pickup* nya berada di kiri FLA trafo yang diamankan. Hal ini tidak diperbolehkan karena jika rele pengaman untuk trafo berada di kiri FLA akan menyebabkan rele merasakan arus gangguan dan memerintah *CB* (*circuit breaker*) yang mengamankan trafo menjadi *open* sehingga trafo tidak dapat bekerja. Dari analisis kurva eksisting diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele yang benar.

#### ➤ **Analisa Perhitungan**

Analisa perhitungan harus memperhatikan manufaktur rele yang dipakai dan *grading time* harus sesuai dengan standar IEEE 242. Perhitungan ulang *setting* rele tersebut adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.3** Data *Setting Relay Motor* GCB -1

<b>R-GCB 1</b>	
<i>Manufacture</i>	Schneider Electric – Merlin Gerin Sepam 1000
<i>Model</i>	MC Set LF <sub>1</sub>
<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
Ratio	400 : 5
FLA Motor C-011	262 A
LRC Motor C-011	1180 A
Isc kontribusi Min	8,36 kA
Isc kontribusi Max Motor C-011	10,31 kA

#### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times \text{FLA motor} \leq I_{\text{lowset}} \leq 1,4 \times \text{FLA motor}$$

$$1,05 \times 262 \leq I_{\text{lowset}} \leq 1,4 \times 262$$

$$275,1 \leq I_{\text{lowset}} \leq 366,8$$

$$\frac{275,1}{400} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{366,8}{400} \text{ In}$$

$$0,68775 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 0,917 \text{ In}$$

Dipilih Tap 0,75 In = (0,75 x 400) = 300 A

### **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0,1 detik

$$t = \left( \frac{0,14}{(M^{0,02} - 1)} \right) \times \frac{T_d}{2,97}$$

$$T_d = \frac{0,1 \times 2,97 \left[ \left( \frac{1}{I_{pickup}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,1 \times 2,97 \left[ \left( \frac{I_{sc \text{ kontribusi Motor}}}{\text{tap} \times CT \text{ primary}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,1 \times 2,97 \left[ \left( \frac{10310}{300} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

Td = 0,155 dipilih Td = 2,3

### **Instantaneous Pickup**

$$I_{start \text{ motor}} \leq I_{highset} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ Min Bus 3}}$$

$$1180 \times 262 \leq I_{highset} \leq 0,8 \times 8360$$

$$1180 \leq I_{highset} \leq 6689$$

$$\frac{1180}{400} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{6688}{400} \text{ In}$$

$$2,95 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 16,72 \text{ In}$$

Dipilih Tap 3,1 In = (3,1 x 400) = 1240 A

### **Time Delay**

Time delay dipilih 0,1 detik

**Tabel 4.4** Data *Setting Relay* Inc 6kV

<b>R-Inc 6kV</b>	
<i>Manufacture</i>	Schneider Electric – Merlin Gerin Sepam 2000
<i>Model</i>	MC Set LF <sub>1</sub>
<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
<i>Ratio</i>	1250 : 5
FLA Sekunder TR - M	916,4 A
Isc Min kontribusi R-Inc 6kV	8,62 kA

**Tabel 4.4** Data *Setting Relay* Inc 6kV ( Lanjutan)

<b>R-Inc 6kV</b>	
Isc Max kontribusi R-Inc 6kV	10,07 kA

**Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times \text{FLA Sekunder TR-M} \leq I_{\text{lowset}} \leq 1,4 \times \text{FLA sekunder TR-M}$$

$$1,05 \times 916,4 \leq I_{\text{lowset}} \leq 1,4 \times 916,4$$

$$962,22 \leq I_{\text{lowset}} \leq 1282,96$$

$$\frac{962,22}{1250} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{1282,96}{1250} I_n$$

$$0,769 I_n \leq \text{Tap} \leq 1,026 I_n$$

$$\text{Dipilih Tap } 0,85 I_n = (0,85 \times 1250) = 1063 \text{ A}$$

**Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0,3 detik

$$t = \left( \frac{0,14}{(M^{0,02} - 1)} \right) \times \frac{T_d}{2,97}$$

$$T_d = \frac{0,3 \times 2,97 \left[ \left( \frac{I}{I_{\text{pickup}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,3 \times 2,97 \left[ \left( \frac{I_{\text{sc Max kontribusi}}}{\text{tap} \times \text{CT primary}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{10070}{1063} \right)^2 - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,292 \text{ detik} \quad \text{dipilih } T_d = 0,3 \text{ detik}$$

**Instantaneous Pickup**

$$1,6 \text{ FLA Sekunder TR-M} \leq I_{\text{highset}} \leq 0,8 \times \text{Isc Min Kontribusi}$$

$$1,6 \times 916,4 \leq I_{\text{highset}} \leq 0,8 \times 8620$$

$$1466,24 \leq I_{\text{highset}} \leq 6896$$

$$\frac{1466,24}{1250} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{6896}{1250} I_n$$

$$1,1729 I_n \leq \text{Tap} \leq 5,52 I_n$$

$$\text{Dipilih Tap } 5,4 I_n = (5,4 \times 1250) = 6750 \text{ A}$$

**Time Delay**

Time delay dipilih 0.3 detik

**Tabel 4.5** Data *Setting Relay* Out 20 kV

<b>R-Out 20kV</b>	
<i>Manufacture</i>	Schneider Electric – Merlin Gerin Sepam 2000
<i>Model</i>	MC Set LF <sub>1</sub>
<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
<i>Ratio</i>	500 : 5
FLA Primer TR - M	288,7 A
Isc Min Bus 25	11,09kA
Isc Max Bus 25	9,19 kA

**Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times \text{FLA Primer TR-M} \leq I_{\text{lowset}} \leq 1,4 \times \text{FLA Primer TR-M}$$

$$1,05 \times 288,7 \leq I_{\text{lowset}} \leq 1,4 \times 288,7$$

$$303,135 \leq I_{\text{lowset}} \leq 404,18$$

$$\frac{303,135}{500} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{404,18}{500} I_n$$

$$0,606 I_n \leq \text{Tap} \leq 0,808 I_n$$

$$\text{Dipilih Tap } 0,7 I_n = (0,7 \times 500) = 350 \text{ A}$$

**Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0,1 detik

$$t = \left( \frac{0,14}{(M^{0,02} - 1)} \right) \times \frac{T_d}{2,97}$$

$$T_d = \frac{0,1 \times 2,97 \left[ \left( \frac{I}{I_{\text{pickup}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,1 \times 2,97 \left[ \left( \frac{\text{Isc kontribusi R.Out going 20kV}}{\text{tap} \times \text{CT primary}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,1 \times 2,97 \left[ \left( \frac{11090}{350} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,152 \text{ dipilih } T_d = 0,5$$

**Instantaneous Pickup**

$$I_{\text{sc max bus 3}} \times \frac{kV \text{ sek.}}{kV \text{ prim.}} \leq I_{\text{highset}} \leq 0,8 \times I_{\text{sc Min R.Outgoing 20kV}}$$

$$11360 \times \frac{6,3}{20} \leq I_{\text{highset}} \leq 0,8 \times 9190$$

$$3578,4 \leq I_{\text{highset}} \leq 7352$$

$$\frac{3578.4}{500} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{7352}{500} I_n$$

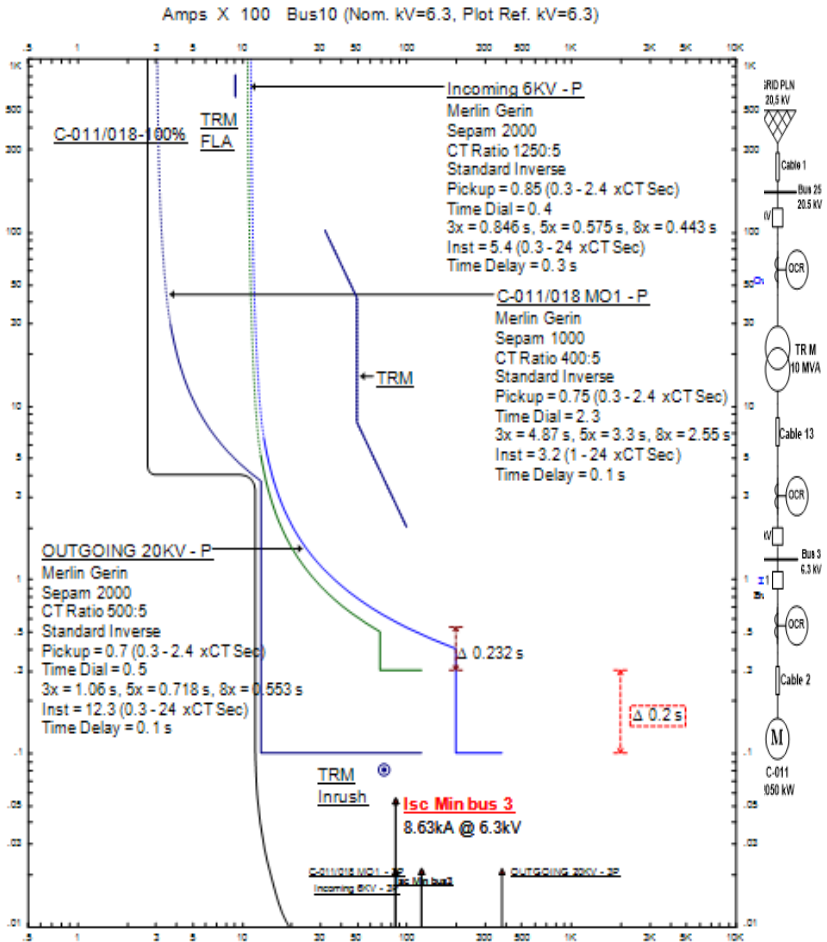
$$7,12 I_n \leq \text{Tap} \leq 14,70$$

$$\text{Dipilih Tap } I_n = (12.3 \times 500) = 6150 \text{ A}$$

### **Time Delay**

*Time delay* dipilih 0.1 detik

Dengan menggunakan hasil analisa perhitungan yang telah dilakukan, maka dapat di *plot* kurva arus waktu kondisi *resetting*. Dan hasilnya adalah seperti Gambar 4.4 untuk Time Current Curve dari tipikal 1



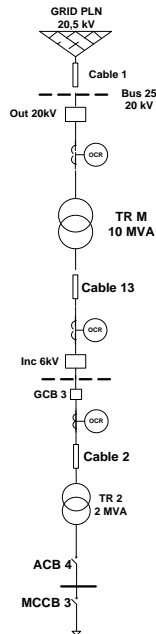
**Gambar 4.4** Hasil Plot Resetting Rele Gangguan Fasa Tipikal 1

Gambar 4.4 merupakan hasil *plot* dari *setting* rele yang diperoleh dari analisa perhitungan yang telah dilakukan. Dari Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa ada tiga kurva yang mempresentasikan tiga rele yang sudah dikordinasi dan *diplot* sesuai dari hasil analisa perhitungan. Hasil *plot* pada Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa *settingan* rele ini sudah aman karena *Isc min* kontribusi motor C-011 mengenai kurva instan. Serta

*setting* untuk *time delay* setiap rele sudah tepat dan *setting grading time* setiap rele 0,2 detik.

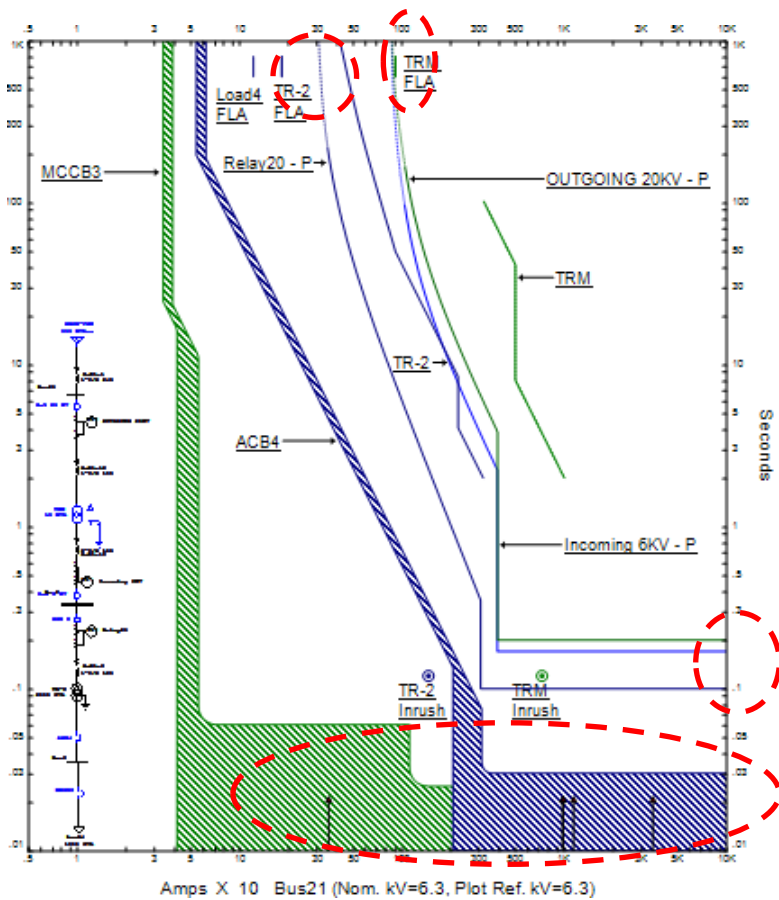
#### 4.4.2 Kordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 2

Tipikal 2 merupakan tipikal dengan saluran terpanjang dari beban *static load* 4 menuju ke sumber *grid* PLN sebesar 20 kV. Tipikal ini terdiri dari tiga level tegangan, yaitu 20 kV, 6,3 kV, dan 400 V. Pada tipikal ini terdapat 3 rele pengaman yang dikoordinasikan yaitu R-CB Out20kV, R-CB Inc6kV, dan R-GCB 3. Dan dilengkapi pengaman ACB 4 serta MCCB 3. Koordinasi rele arus lebih Tipikal 2 pada kondisi eksisting dipresentasikan melalui Gambar 4.5 di bawah ini :



**Gambar 4.5** *Single Line Diagram* Tipikal 2

Data eksisting koordinasi proteksi tipikal 2 ini diplot menggunakan *software* ETAP. Gambar eksisting koordinasi proteksi tipikal 2 dapat dilihat pada Gambar 4.6 dibawah ini.



**Gambar 4.6** Hasil Plot Eksisting Rele Gangguan Fasa Tipikal 2

Dari hasil *plot* kurva eksisting fasa tipikal 2 pada Gambar 4.6 dapat dilihat beberapa koordinasi proteksi yang tidak sesuai. Kesalahan yang pertama yaitu kurva arus *pickup* ACB berada pada kiri kurva FLA trafo 2. Hal ini tidak diperbolehkan, karena dapat membuat rele bekerja sebelum trafo beroperasi. Kesalahan kedua yaitu LVCB (*Low Voltage Circuit Breaker*) ACB 4 dan MCCB 3 bekerja secara bersamaan. Hal ini akan membuat *sympatiitic trip* pada dua LVCB tersebut. Dari analisis



kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele yang benar.

➤ **Analisa Perhitungan**

Analisa perhitungan harus memperhatikan manufaktur rele yang dipakai dan *grading time* harus sesuai dengan standar IEEE 242. Perhitungan ulang *setting* rele tersebut adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.6** Data *Setting* ACB-4

<b>ACB 4</b>	
<i>Manufacture</i>	Schneider Electric –Merlin Gerlin
<i>Model</i>	MP63H1
FLA Sek trafo 2	2887 A
Rating Plug	5040 A

Long - Time

LT *Pick up* :

$$1,05 \times \text{FLA Sek Trafo 2} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Sek Trafo 2}$$

$$1,05 \times 2887 < \text{Iset} < 1,4 \times 2887$$

$$3031,35 < \text{Iset} < 4041,8$$

$$\frac{3031,35}{5040} < \text{Tap} < \frac{4041,8}{5040}$$

$$0,6 < \text{Tap} < 0,8$$

Dipilih Tap = 0,8In

Iset = 40320

Dipilih LT Band = 15

Short - Time

LT *Pick up* :

$$1,6 \times \text{FLA Sek Trafo 2} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc min bus 8}$$

$$1,6 \times 2887 < \text{Iset} < 0,8 \times 31480$$

$$4619,2 < \text{Iset} < 25184$$

$$\frac{4619,2}{5040} < \text{Tap} < \frac{25184}{5040}$$

$$0,9 < \text{Tap} < 4,99$$

Dipilih Tap = 1In

Iset = 5040

Dipilih ST Band = 0,3

**Tabel 4.7** Data Setting Relay GCB -3

<b>R-GCB 3</b>	
<i>Manufacture</i>	Schneider Electric – Merlin Gerin Sepam 1000
<i>Model</i>	MC Set LF <sub>1</sub>
<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
<i>Ratio</i>	300 : 5
FLA Primer Tr-2	192,5 A
Isc Min kontribusi GCB 3	8,16 kA
Isc Max kontribusi GCB 3	10,82kA

**Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times \text{FLA Primer Tr-2} \leq I_{\text{lowset}} \leq 1,4 \times \text{FLA Primer Tr-2}$$

$$1,05 \times 192,5 \leq I_{\text{lowset}} \leq 1,4 \times 192,5$$

$$202,125 \leq I_{\text{lowset}} \leq 269,5$$

$$\frac{202,125}{300} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{269,5}{300} I_n$$

$$0,673 I_n \leq \text{Tap} \leq 0,898 I_n$$

$$\text{Dipilih Tap } 0,75 I_n = (0,75 \times 300) = 225 \text{ A}$$

**Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0,1 detik

$$t = \left( \frac{0,14}{(M^{0,02} - 1)} \right) \times \frac{T_d}{2,97}$$

$$T_d = \frac{0,1 \times 2,97 \left[ \left( \frac{I}{I_{\text{pickup}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,1 \times 2,97 \left[ \left( \frac{\text{Isc kontribusi Motor}}{\text{tap} \times \text{CT primary}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,1 \times 2,97 \left[ \left( \frac{10820}{225} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,1 \times 2,97 \left[ \left( \frac{10820}{225} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,167 \text{ dipilih } T_d = 0,6$$

**Instantaneous Pickup**

$$I_{\text{sc max bus}} \times \frac{kV_{\text{sek.}}}{kV_{\text{prim.}}} \leq I_{\text{highset}} \leq 0,8 \times I_{\text{sc Min bus 21}}$$

$$41990 \times \frac{0,4}{6,3} \leq I_{\text{highset}} \leq 0,8 \times 8160$$

$$2666,032 \leq I_{\text{highset}} \leq 6528$$

$$\frac{2666}{300} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{6528}{300} I_n$$

$$8,9 I_n \leq \text{Tap} \leq 21,76$$

Dipilih Tap  $13 I_n = (13 \times 300) = 3900 \text{ A}$

### **Time Delay**

*Time delay* dipilih 0,1 detik

**Tabel 4.8** Data *Setting Relay* Inc 6kV Tipikal 2

<b>R-Inc 6kV</b>	
<i>Manufacture</i>	Schneider Electric – Merlin Gerin Sepam 2000
<i>Model</i>	MC Set LF <sub>1</sub>
<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
Ratio	1250 : 5
FLA Sekunder TR - M	916,4 A
Isc Min kontribusi R-Inc 6kV	8,62 kA
Isc Max kontribusi R-Inc 6kV	10,07 kA

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times \text{FLA Sekunder TR-M} \leq I_{\text{lowset}} \leq 1,4 \times \text{FLA sekunder TR-M}$$

$$1,05 \times 916,4 \leq I_{\text{lowset}} \leq 1,4 \times 916,4$$

$$962,22 \leq I_{\text{lowset}} \leq 1282,96$$

$$\frac{962,22}{1250} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{1282,96}{1250} I_n$$

$$0,769 I_n \leq \text{Tap} \leq 1,026 I_n$$

Dipilih Tap  $0,85 I_n = (0,85 \times 1250)$   
 $= 1063 \text{ A}$

### **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0,3 detik

$$t = \left( \frac{0,14}{(M^{0,02} - 1)} \right) \times \frac{T_d}{2,97}$$

$$T_d = \frac{0,3 \times 2,97 \left[ \left( \frac{I}{I_{\text{pickup}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,3 \times 2,97 \left[ \left( \frac{\text{Isc Max kontribusi}}{\text{tap} \times \text{CT primary}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{10070}{1063} \right)^2 - 1 \right]}{0,14}$$

$T_d = 0,292 \text{ detik}$

dipilih  $T_d = 0,3 \text{ detik}$

### **Instantaneous Pickup**

$1,6 \text{ FLA Sekunder TR-M} \leq I_{\text{highset}} \leq 0,8 \times \text{Isc Min Kontribusi}$

$1,6 \times 916,4 \leq I_{\text{highset}} \leq 0,8 \times 8620$

$1466,24 \leq I_{\text{highset}} \leq 6896$

$\frac{1466,24}{1250} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{6896}{1250} \text{ In}$

$1,1729 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 5,52 \text{ In}$

Dipilih Tap  $1,5 \text{ In} = (5,4 \times 1250) = 6750 \text{ A}$

### **Time Delay**

*Time delay* dipilih 0.3 detik

**Tabel 4.9** Data *Setting Relay* Out 20 kV Tipikal 2

<b>R-Out 20Kv</b>	
<i>Manufacture</i>	Schneider Electric – Merlin Gerin Sepam 2000
<i>Model</i>	MC Set LF <sub>1</sub>
<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
<i>Ratio</i>	500 : 5
FLA Primer TR - M	288,7 A
Isc Min Bus 25	11,09kA
Isc Max Bus 25	9,19 kA

### **Time Overcurrent Pickup**

$1,05 \times \text{FLA Primer TR-M} \leq I_{\text{lowset}} \leq 1,4 \times \text{FLA Primer TR-M}$

$1,05 \times 288,7 \leq I_{\text{lowset}} \leq 1,4 \times 288,7$

$303,135 \leq I_{\text{lowset}} \leq 404,18$

$\frac{303,135}{500} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{404,18}{500} \text{ In}$

$0,606 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 0,808 \text{ In}$

Dipilih Tap  $0,7 \text{ In} = (0,7 \times 500) = 350 \text{ A}$

### **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (t) = 0,1 detik

$$t = \left( \frac{0,14}{(M^{0,02}-1)} \right) \times \frac{Td}{2,97}$$

$$Td = \frac{0,1 \times 2,97 \left[ \left( \frac{1}{I_{pickup}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$Td = \frac{0,1 \times 2,97 \left[ \left( \frac{I_{sc \text{ kontribusi R.Out going 20kV}}{\text{tap} \times CT \text{ primary}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$Td = \frac{0,1 \times 2,97 \left[ \left( \frac{11090}{350} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

Td = 0,152 dipilih Td = 0,5 detik

### **Instantaneous Pickup**

$$I_{sc \text{ max bus}} 26 \times \frac{kV \text{ sek.}}{kV \text{ prim.}} \leq I_{highset} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ Min R.Outgoing 20kV}}$$

$$11360 \times \frac{6,3}{20} \leq I_{highset} \leq 0,8 \times 9190$$

$$3578.4 \leq I_{highset} \leq 7352$$

$$\frac{3578.4}{500} I_n \leq Tap \leq \frac{7352}{500} I_n$$

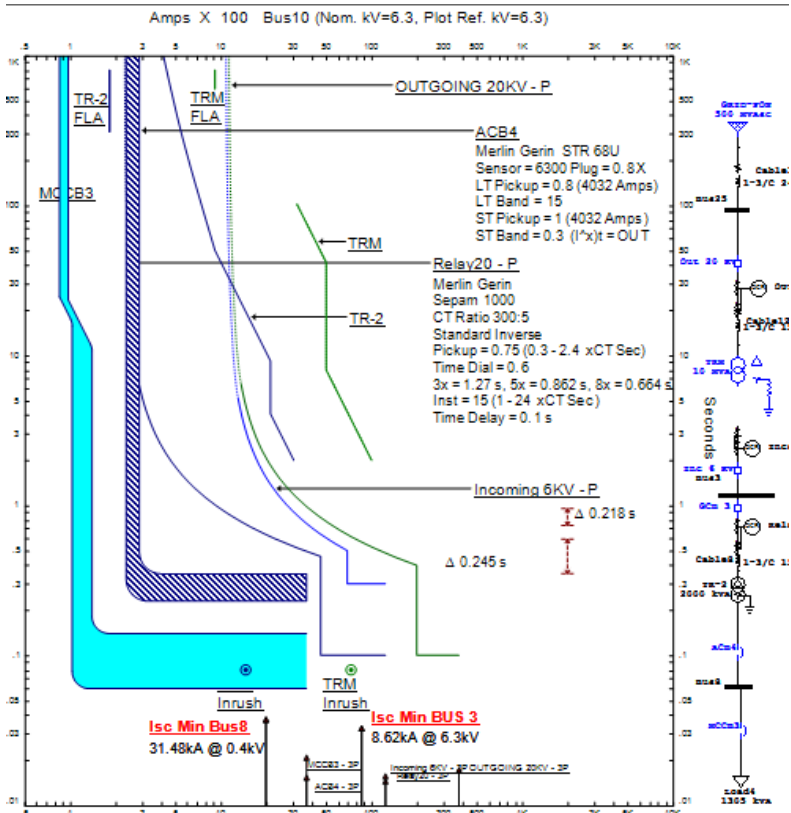
$$7,12 I_n \leq Tap \leq 14,70$$

$$\text{Dipilih Tap } 1 I_n = (12.3 \times 500) = 6150 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Time delay dipilih 0.1 detik

Dengan menggunakan hasil analisa perhitungan yang telah dilakukan, maka dapat di *plot* kurva arus waktu kondisi *resetting*. Dan hasilnya adalah seperti Gambar 4.7 untuk *Time Current Curve* dari tipikal 2



Setelah dilakukan *resetting* fasa tipikal 2 pada Gambar 4.7 terlihat bahwa koordinasi antara ACB4 dan MCCB3 sudah tepat, yaitu dengan *setting time delay* MCCB3 0,1 s, dan *time delay* ACB4 sebesar 0,35 s. Pada Gambar 4.7 dapat terlihat pula R-GCB [R20] dan ACB 4 telah dikoordinasi dengan benar untuk melindungi trafo TR-2.

## 4.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah

Rele arus lebih gangguan tanah berfungsi untuk melindungi saat ada gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. Koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah ini sangat dipengaruhi oleh pemasangan NGR,

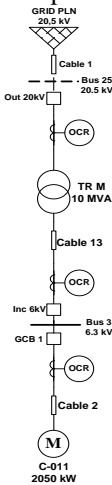
karena arus hubung singkat ketanah terbesar adalah sama dengan NGR yang dipasang.Pada sistem kelisitrikan PT. Petro Oxo Nusantara berbentuk radial dengan tiga level tegangan yaitu 20 kV, 6.3 kV, 0,4 kV. Pertanahan yang digunakan di PT.PON terdapat pada Tabel 4.10 dibawah ini.

**Tabel 4.10** Tegangan dan Pentanahan Peralatan

No	Peralatan	Rating Tegangan	Hubungan Belitan	Pentanahan
1	TR - M	20/6,3 kV	Delta-Bintang	NGR 100 A
2	TR – 1	6,3/0,4 kV	Delta-Bintang	Solid
3	TR – 2	6,3/0,4 kV	Delta-Bintang	Solid
4	TR – 3	6,3/0,4 kV	Delta-Bintang	Solid
5	TR – 6	6,3/0,4 kV	Delta-Bintang	Solid
6	TR - 7	6,3/0,4 kV	Delta-Bintang	Solid

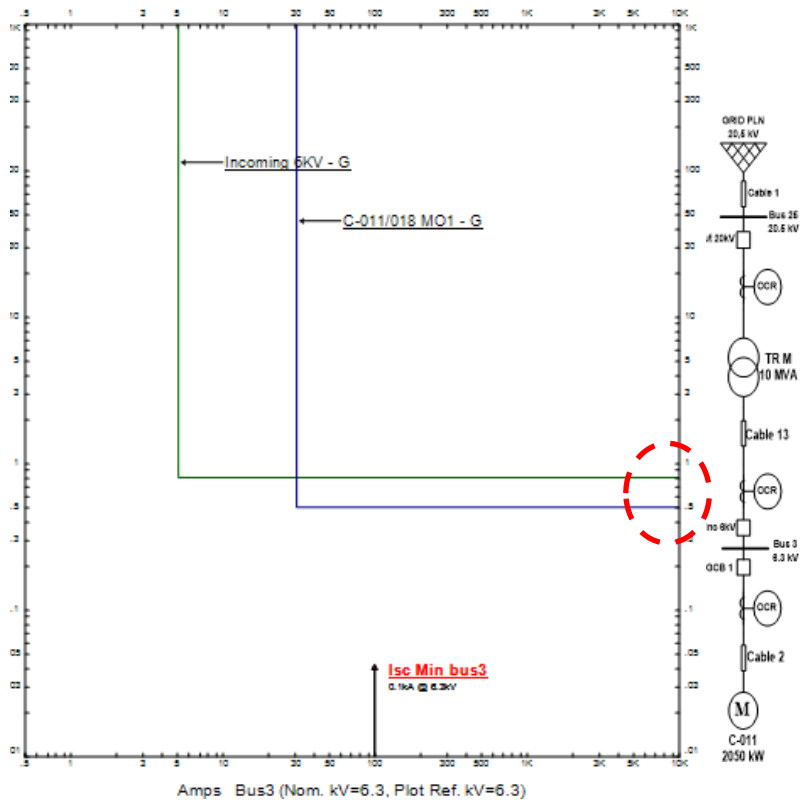
### 4.5.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 1

Koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah 1 ini dimulai dari Trafo M sampai ke beban motor C-011. Rele yang dikoordinasikan yaitu rele R-CB Out20kV, R-CB Inc6kV, dan R-GCB1. Gambar *single line diagram* gangguan fasa ke tanah dapat dilihat pada Gambar 4.8.



**Gambar 4.8** Single Line Diagram Tipikal 1 Gangguan Fasa Ke Tanah

Data eksisting koordinasi proteksi gangguan fasa ke tanah tipikal 1 ini *diplot* menggunakan *software* ETAP. Pada data eksisting yang *diplot* adalah rele R-CB Out20kV, R-CB Inc6kV, dan R-GCB1. Gambar 4.9 merupakan TCC eksisting dari koordinasi proteksi gangguan fasa ke tanah tipikal 1.



**Gambar 4.9** Hasil *Plot Eksisting* Rele Gangguan Fasa ke Tanah Tipikal 1

Dari hasil *plot* kurva eksisting gangguan fasa ke tanah tipikal 1 pada Gambar 4.9 dapat kita lihat bahwa koordinasi kurva proteksi ini tidak tepat, karena saat terjadi gangguan fasa ke tanah waktu yang diperlukan rele C-011 sebesar 0,5 s. Hal ini tidak diperkenankan karena waktu rele C-011 untuk memutus gangguan harusnya 0,1 s. agar



gangguang bisa cepat diatasi. Untuk melakukan *resetting* pada tipikal 1 ini diperlukan perhitungan secara manual terlebih dahulu.

➤ **Analisa Perhitungan**

Analisa perhitungan harus memperhatikan manufaktur rele yang dipakai dan *grading time* harus sesuai dengan standar IEEE 242. Perhitungan ulang *setting* rele tersebut adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.11** Data Setting Relay Motor GCB -1Tipikal 1Ground

<b>R-GCB 1</b>	
<i>Manufacture</i>	Schneider Electric – Merlin Gerin Sepam 1000
<i>Model</i>	MC Set LF <sub>1</sub>
CT Ratio	100 : 1

**Instantaneous Pickup**

$$10\% \times I_{sc} \text{ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc} \text{ L-G}$$

$$10\% \times 100 \leq I_{set} \leq 50\% \times 100$$

$$10 \leq I_{set} \leq 50$$

$$\frac{10}{100} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{50}{100} I_n$$

$$0,1 I_n \leq \text{Tap} \leq 0,5 I_n$$

$$\begin{aligned} \text{Dipilih Tap } 0,3 I_n &= (0,3 \times 100) \\ &= 30 \text{ A} \end{aligned}$$

**Time delay**

*Time delay* dipilih 0,1 detik

**Tabel 4.12** Data Setting Relay Inc 6kV Tipikal 1Ground

<b>R-Inc 6kV</b>	
<i>Manufacture</i>	Schneider Electric – Merlin Gerin Sepam 2000
<i>Model</i>	MC Set LF <sub>1</sub>
Ratio	100 : 1

**Instantaneous Pickup**

$$10\% \times I_{sc} \text{ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc} \text{ L-G}$$

$$10\% \times 100 \leq I_{set} \leq 50\% \times 100$$

$$10 \leq I_{set} \leq 50$$

$$\frac{10}{100} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{50}{100} I_n$$

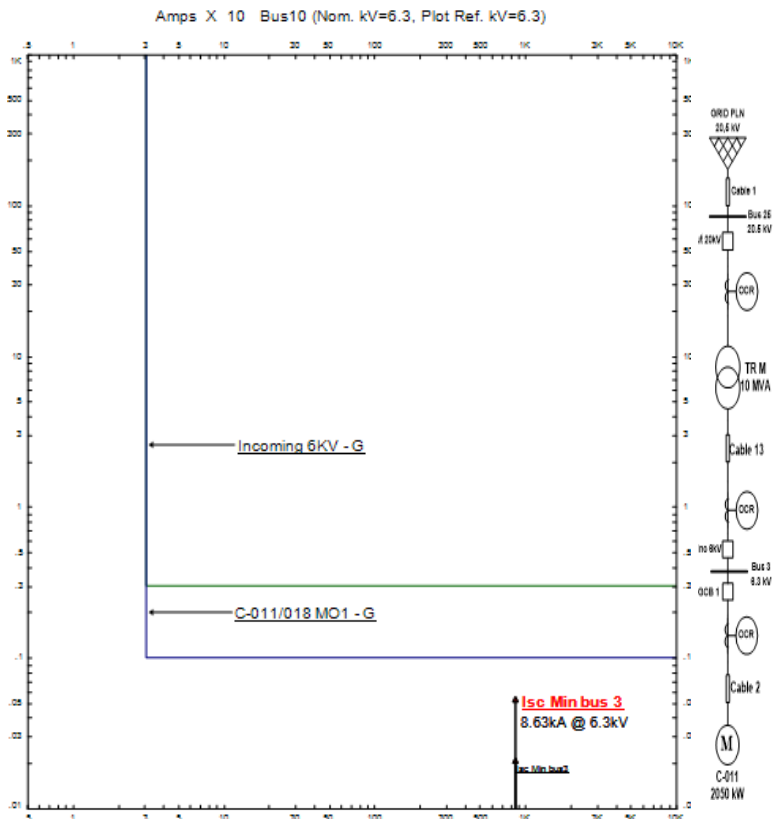
$$0,1 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 0,5 \text{ In}$$

$$\begin{aligned} \text{Dipilih Tap } 0,3 \text{ In} &= (0,3, \times 100) \\ &= 30 \text{ A} \end{aligned}$$

### Time delay

Time delay dipilih 0,1 detik

Dari perhitungan diatas dapat *diplot* kurva koordinasi proteksi pada software ETAP. Pada Gambar 4.10 merupakan hasil koordinasi rele.



**Gambar 4.10** Hasil Plot Reseting Rele Gangguan Fasa ke tanah Tipika I

Setelah dilakukan koordinasi proteksi untuk gangguan satu fasa ke tanah, pada Gambar 4.12 terlihat bahwa apabila ada gangguan satu fasa ke tanah sudah dapat diatasi.

#### 4.6 Perhitungan Insiden Energy Busur Api dengan Standar IEEE 1584-2002 pada Sistem Eksisting

Dalam sub bab ini akan dibahas mengenai nilai dari energy insiden busur api berdasarkan data eksisting dari perusahaan. Nilai yang akan dicari ialah *arch flash current* dan insiden energi busur api. Data yang diperlukan untuk perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.13 dibawah ini.

**Tabel 4.13** Data Bus Untuk Perhitungan Energi Busur Api

ID bus	Tegangan (kV)	I <sub>bf</sub> (A)	FCT (detik)	Working Distance (mm)	Gap (mm)	X factor
Bus 25	20	11,3	0,1	914,4	-	-
Bus 3	6,3	12,38	0,24	914,4	200	0,973
Bus 6	0,4	39,5	6,154	457,2	130	1,641
Bus 7	0,4	39,5	6,154	457,2	130	1,641
Bus 8	0,4	38	6,23	457,2	130	1,641
Bus 16	0,4	39,3	6,22	457,2	130	1,641
Bus 19	0,4	27,2	8,94	457,2	130	1,641
Bus 20	0,4	32	0,137	457,2	130	1,641

Perhitungan untuk masing-masing bus dapat dilihat sebagai berikut :

- Perhitungan energi busur api di bus dengan level tegangan di bawah 1 kV ( bus 0,4 kV)

Rumus yang digunakan :

$$\text{Lg Ia} = K + (0,662 \times \lg I_{bf}) + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\text{Ia} = 10^{\lg \text{Ia}}$$

$$\text{Lg En} = K_1 + K_2 + (1,081 \times \lg \text{Ia}) + 0,0011 G$$

$$\text{En} = 10^{\lg \text{En}}$$

$$E = 4,184 \times C_f \times \text{En} \times \left( \frac{t}{0,2} \right) \left( \frac{610^x}{D^x} \right)$$

- Bus 6
  - Lg Ia  $= -0,097 + (0,662 \times \lg 39,5) + (0,0966 \times 0,4) +$   
 $(0,000526 \times 130) + (0,5588 \times 0,4 \times (\lg 39,5) -$   
 $(0,00304 \times 130 \times (\lg 39,5))$   
 $= 0,79$
  - Ia  $= 10^{0,79} = 6,16 \text{ kA}$
  - Lg En  $= -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 0,79) + (0,0011 \times 130)$   
 $= 0,33$
  - En  $= 10^{0,35} = 2,13 \text{ J/cm}^2$
  - E  $= 4,184 \times 1,5 \times 2,13 \times \left( \frac{6,154}{0,2} \right) \left( \frac{610^{1,641}}{457,2^{1,641}} \right)$   
 $= 660,21 \text{ J/cm}^2 = 157,73 \text{ cal/cm}^2$
  
- Bus 7
  - Lg Ia  $= -0,097 + (0,662 \times \lg 39,5) + (0,0966 \times 0,4) +$   
 $(0,000526 \times 130) + (0,5588 \times 0,4 \times (\lg 39,5) -$   
 $(0,00304 \times 130 \times (\lg 39,5))$   
 $= 0,79$
  - Ia  $= 10^{0,79} = 6,16 \text{ kA}$
  - Lg En  $= -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 0,79) + (0,0011 \times 130)$   
 $= 0,33$
  - En  $= 10^{0,35} = 2,13 \text{ J/cm}^2$
  - E  $= 4,184 \times 1,5 \times 2,13 \times \left( \frac{6,154}{0,2} \right) \left( \frac{610^{1,641}}{457,2^{1,641}} \right)$   
 $= 660,21 \text{ J/cm}^2 = 157,73 \text{ cal/cm}^2$
  
- Bus 8
  - Lg Ia  $= -0,097 + (0,662 \times \lg 38,0) + (0,0966 \times 0,4) +$   
 $(0,000526 \times 130) + (0,5588 \times 0,4 \times (\lg 38,0) -$   
 $(0,00304 \times 130 \times (\lg 38,0))$   
 $= 0,78$
  - Ia  $= 10^{0,78} = 6,03 \text{ kA}$
  - Lg En  $= -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 0,78) + (0,0011 \times 130)$   
 $= 0,32$
  - En  $= 10^{0,35} = 2,08 \text{ J/cm}^2$
  - E  $= 4,184 \times 1,5 \times 2,08 \times \left( \frac{6,23}{0,2} \right) \left( \frac{610^{1,641}}{457,2^{1,641}} \right)$   
 $= 652,67 \text{ J/cm}^2 = 155,93 \text{ cal/cm}^2$

- Bus 16

$$\begin{aligned}
 \text{Lg Ia} &= -0,097 + (0,662 \times \lg 39,3) + (0,0966 \times 0,4) + \\
 &\quad (0,000526 \times 130) + (0,5588 \times 0,4 \times (\lg 39,3) - \\
 &\quad (0,00304 \times 130 \times (\lg 39,3)) \\
 &= 0,79 \\
 \text{Ia} &= 10^{0,81} = 6,16 \text{ kA} \\
 \text{Lg En} &= -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 0,79) + (0,0011 \times 130) \\
 &= 0,33 \\
 \text{En} &= 10^{0,33} = 2,14 \text{ J/cm}^2 \\
 \text{E} &= 4,184 \times 1,5 \times 2,14 \times \left( \frac{6,22}{0,2} \right) \left( \frac{610^{1,641}}{457,2^{1,641}} \right) \\
 &= 670,4 \text{ J/cm}^2 = 160.2 \text{ cal/cm}^2
 \end{aligned}$$

- Bus 19

$$\begin{aligned}
 \text{Lg Ia} &= -0,097 + (0,662 \times \lg 27,2) + (0,0966 \times 0,4) + \\
 &\quad (0,000526 \times 130) + (0,5588 \times 0,4 \times (\lg 27,2) - \\
 &\quad (0,00304 \times 130 \times (\lg 27,2)) \\
 &= 0,71 \\
 \text{Ia} &= 10^{0,71} = 5,1 \text{ kA} \\
 \text{Lg En} &= -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 0,71) + (0,0011 \times 130) \\
 &= 0,24 \\
 \text{En} &= 10^{0,24} = 1,73 \text{ J/cm}^2 \\
 \text{E} &= 4,184 \times 1,5 \times 1,73 \times \left( \frac{8,94}{0,2} \right) \left( \frac{610^{1,641}}{457,2^{1,641}} \right) \\
 &= 779 \text{ J/cm}^2 = 186 \text{ cal/cm}^2
 \end{aligned}$$

- Bus 20

$$\begin{aligned}
 \text{Lg Ia} &= -0,097 + (0,662 \times \lg 32,0) + (0,0966 \times 0,4) + \\
 &\quad (0,000526 \times 130) + (0,5588 \times 0,4 \times (\lg 32) - \\
 &\quad (0,00304 \times 130 \times (\lg 32)) \\
 &= 0,74 \\
 \text{Ia} &= 10^{0,74} = 5,4 \text{ kA} \\
 \text{Lg En} &= -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 0,74) + (0,0011 \times 130) \\
 &= 0,27 \\
 \text{En} &= 10^{0,27} = 1,86 \text{ J/cm}^2 \\
 \text{E} &= 4,184 \times 1,5 \times 1,86 \times \left( \frac{0,137}{0,2} \right) \left( \frac{610^{1,641}}{457,2^{1,641}} \right) \\
 &= 12,8 \text{ J/cm}^2 = 3,06 \text{ cal/cm}^2
 \end{aligned}$$

- b. Perhitungan energi busur api di bus dengan level tegangan 1 - 15 kV ( bus 6,3 kV)

Rumus yang digunakan :

$$\text{Lg Ia} = 0,00404 + (0,983 \times \text{lg I}_{\text{bf}})$$

$$\text{Ia} = 10^{\text{lg Ia}}$$

$$\text{Lg En} = \text{K}_1 + \text{K}_2 + (1,081 \times \text{lg Ia}) + 0,0011 \text{ G}$$

$$\text{En} = 10^{\text{lg En}}$$

$$\text{E} = 4,184 \times \text{C}_f \times \text{En} \times \left( \frac{t}{0,2} \right) \left( \frac{610^x}{D^x} \right)$$

- Bus 3

$$\text{Lg Ia} = 0,00404 + (0,983 \times \text{lg 12,38})$$

$$= 1,08$$

$$\text{Ia} = 10^{1,08} = 12,02 \text{ kA}$$

$$\text{Lg En} = -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 1,08) + (0,0011 \times 200)$$

$$= 0,72$$

$$\text{En} = 10^{0,72} = 5,25 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{E} = 4,184 \times 1 \times 5,25 \times \left( \frac{0,24}{0,2} \right) \left( \frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}} \right)$$

$$= 17,77 \text{ J/cm}^2 = 4,25 \text{ cal/cm}^2$$

- c. Perhitungan energi busur api di bus dengan level tegangan di atas 15 kV

Rumus yang digunakan :

$$\text{E} = 2,142 \times 10^6 \times \text{V} \times \text{I}_{\text{bf}} \times \left( \frac{t}{D^2} \right)$$

Ditegangan lebih dari 15 kV arus busur sama dengan arus gangguan

- Bus 25

$$\text{E} = 2,142 \times 10^6 \times 20 \times 11,3 \times \left( \frac{0,1}{914,4^2} \right)$$

$$= 57,8 \text{ J/cm}^2 = 13,8 \text{ cal/cm}^2$$

#### 4.7 Hasil Simulasi Insiden *Energy* Busur Api Dengan Standar IEEE 1584-2002 Pada Sistem *Resetting*

Hasil simulasi perhitungan busur api menggunakan perangkat lunak ETAP. Simulasi dilakukan pada semua level tegangan di sistem kelistrikan PT. Petro Oxo Nusantara Gresik. Berikut ini akan ditampilkan besarnya *energy arc flash* pada bus-bus dengan koordinasi *resetting*. Pada Tabel 4.14 akan ditampilkan data eksisting berupa

besarnya arus *bolted fault*, arus aching, FCT (*Fault Clearing Time*), insiden *energy*, dan kategori bahaya.

**Tabel 4.14** Data Hasil Simulasi Perhitungan Energi Busur Api Kondisi Eksisting PT. Petro Oxo Nusantara Gresik

ID bus	Tegangan (kV)	Ibf (kA)	FCT (detik)	Arus Arch (kA)	Insiden Energi (cal/ cm <sup>2</sup> )	Energy level
Bus 25	20	11,3	0,1	11,287	13,83	Level 3
Bus 3	6,3	12,38	0,37	11,97	5,78	Level 2
Bus 6	0,4	39,5	0,35	6,1	8,94	Level 3
Bus 7	0,4	39,5	0,35	6,1	8,94	Level 3
Bus 8	0,4	38	0,35	6,1	8,89	Level 3
Bus 16	0,4	39,3	0,35	6,1	8,89	Level 3
Bus 19	0,4	27,2	0,35	5,1	7,44	Level 2
Bus 20	0,4	32	0,35	5,5	8,02	Level 3

#### 4.8 Perhitungan Insiden Energy Busur Api Dengan Standar IEEE 1584-2002 Pada Sistem Resetting

Setelah dilakukan perhitungan arc flash current dan insiden energi pada sub – bab sebelumnya dengan menggunakan data eksisting. Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai perhitungan *arc flash current* dan insiden energi menggunakan data baru yang ada pada Tabel 4.15. *resetting* yang dilakukan akan mempengaruhi nilai dari FCT.

**Tabel 4.15** Data Bus Untuk Perhitungan Energi Busur Api

ID bus	Tegangan (kV)	Ibf (A)	FCT (detik)	Working Distance (mm)	Gap (mm)	X factor
Bus 25	20	11,3	0,1	914,4	-	
Bus 3	6,3	12,38	0,37	914,4	200	0,973
Bus 6	0,4	39,5	0,35	457,2	130	1,641
Bus 7	0,4	39,5	0,35	457,2	130	1,641
Bus 8	0,4	38	0,35	457,2	130	1,641
Bus 16	0,4	39,3	0,35	457,2	130	1,641
Bus 19	0,4	27,2	0,35	457,2	130	1,641
Bus 20	0,4	32	0,35	457,2	130	1,641

- a. Perhitungan energi busur api di bus dengan level tegangan di bawah 1 kV ( bus 0,4 kV)

Rumus yang digunakan :

$$\text{Lg Ia} = K + (0,662 \times \lg I_{bf}) + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$I_a = 10^{\lg I_a}$$

$$\text{Lg En} = K_1 + K_2 + (1,081 \times \lg I_a) + 0,0011 G$$

$$\text{En} = 10^{\lg \text{En}}$$

$$E = 4,184 \times C_f \times \text{En} \times \left( \frac{t}{0,2} \right) \left( \frac{610^x}{D^x} \right)$$

- Bus 6

$$\begin{aligned} \text{Lg Ia} &= -0,097 + (0,662 \times \lg 39,5) + (0,0966 \times 0,4) + \\ &\quad (0,000526 \times 130) + (0,5588 \times 0,4 \times (\lg 39,5) - \\ &\quad (0,00304 \times 130 \times (\lg 39,5)) \\ &= 0,79 \end{aligned}$$

$$I_a = 10^{0,79} = 6,16 \text{ kA}$$

$$\begin{aligned} \text{Lg En} &= -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 0,79) + (0,0011 \times 130) \\ &= 0,33 \end{aligned}$$

$$\text{En} = 10^{0,35} = 2,13 \text{ J/cm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= 4,184 \times 1,5 \times 2,13 \times \left( \frac{0,35}{0,2} \right) \left( \frac{610^{1,641}}{457,2^{1,641}} \right) \\ &= 37,5 \text{ J/cm}^2 = 8,9 \text{ cal/cm}^2 \end{aligned}$$

- Bus 7

$$\begin{aligned} \text{Lg Ia} &= -0,097 + (0,662 \times \lg 39,5) + (0,0966 \times 0,4) + \\ &\quad (0,000526 \times 130) + (0,5588 \times 0,4 \times (\lg 39,5) - \\ &\quad (0,00304 \times 130 \times (\lg 39,5)) \\ &= 0,79 \end{aligned}$$

$$I_a = 10^{0,79} = 6,16 \text{ kA}$$

$$\begin{aligned} \text{Lg En} &= -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 0,79) + (0,0011 \times 130) \\ &= 0,33 \end{aligned}$$

$$\text{En} = 10^{0,35} = 2,13 \text{ J/cm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= 4,184 \times 1,5 \times 2,13 \times \left( \frac{0,35}{0,2} \right) \left( \frac{610^{1,641}}{457,2^{1,641}} \right) \\ &= 37,5 \text{ J/cm}^2 = 8,9 \text{ cal/cm}^2 \end{aligned}$$

- Bus 8

$$\begin{aligned} \text{Lg Ia} &= -0,097 + (0,662 \times \lg 38,0) + (0,0966 \times 0,4) + \\ &\quad (0,000526 \times 130) + (0,5588 \times 0,4 \times (\lg 38,0) - \\ &\quad (0,00304 \times 130 \times (\lg 38,0)) \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
&= 0,78 \\
I_a &= 10^{0,78} = 6,03 \text{ kA} \\
Lg \text{ En} &= -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 0,78) + (0,0011 \times 130) \\
&= 0,32 \\
En &= 10^{0,35} = 2,08 \text{ J/cm}^2 \\
E &= 4,184 \times 1,5 \times 2,08 \times \left( \frac{0,35}{0,2} \right) \left( \frac{610^{1,641}}{457,2^{1,641}} \right) \\
&= 36,6 \text{ J/cm}^2 = 8,8 \text{ cal/cm}^2
\end{aligned}$$

- Bus 16

$$\begin{aligned}
Lg \text{ Ia} &= -0,097 + (0,662 \times \lg 39,3) + (0,0966 \times 0,4) + \\
&\quad (0,000526 \times 130) + (0,5588 \times 0,4 \times (\lg 39,3) - \\
&\quad (0,00304 \times 130 \times (\lg 39,3) \\
&= 0,79 \\
I_a &= 10^{0,81} = 6,16 \text{ kA} \\
Lg \text{ En} &= -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 0,79) + (0,0011 \times 130) \\
&= 0,33 \\
En &= 10^{0,33} = 2,14 \text{ J/cm}^2 \\
E &= 4,184 \times 1,5 \times 2,14 \times \left( \frac{0,35}{0,2} \right) \left( \frac{610^{1,641}}{457,2^{1,641}} \right) \\
&= 37,72 \text{ J/cm}^2 = 9 \text{ cal/cm}^2
\end{aligned}$$

- Bus 19

$$\begin{aligned}
Lg \text{ Ia} &= -0,097 + (0,662 \times \lg 27,2) + (0,0966 \times 0,4) + \\
&\quad (0,000526 \times 130) + (0,5588 \times 0,4 \times (\lg 27,2) - \\
&\quad (0,00304 \times 130 \times (\lg 27,2) \\
&= 0,71 \\
I_a &= 10^{0,71} = 5,1 \text{ kA} \\
Lg \text{ En} &= -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 0,71) + (0,0011 \times 130) \\
&= 0,24 \\
En &= 10^{0,24} = 1,73 \text{ J/cm}^2 \\
E &= 4,184 \times 1,5 \times 1,73 \times \left( \frac{0,35}{0,2} \right) \left( \frac{610^{1,641}}{457,2^{1,641}} \right) \\
&= 30,5 \text{ J/cm}^2 = 7,3 \text{ cal/cm}^2
\end{aligned}$$

- Bus 20

$$\begin{aligned}
Lg \text{ Ia} &= -0,097 + (0,662 \times \lg 32,0) + (0,0966 \times 0,4) + \\
&\quad (0,000526 \times 130) + (0,5588 \times 0,4 \times (\lg 32) - \\
&\quad (0,00304 \times 130 \times (\lg 32) \\
&= 0,74
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_a &= 10^{0,74} = 5,4 \text{ kA} \\
Lg \text{ En} &= -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 0,74) + (0,0011 \times 130) \\
&= 0,27 \\
En &= 10^{0,27} = 1,86 \text{ J/cm}^2 \\
E &= 4,184 \times 1,5 \times 1,86 \times \left( \frac{0,35}{0,2} \right) \left( \frac{610^{1,641}}{457,2^{1,641}} \right) \\
&= 32,8 \text{ J/cm}^2 = 8 \text{ cal/cm}^2
\end{aligned}$$

d. Perhitungan energi busur api di bus dengan level tegangan 1 - 15 kV ( bus 6,3 kV)

Rumus yang digunakan :

$$\begin{aligned}
Lg I_a &= 0,00404 + (0,983 \times \lg I_{bf}) \\
I_a &= 10^{Lg I_a} \\
Lg En &= K_1 + K_2 + (1,081 \times \lg I_a) + 0,0011 G \\
En &= 10^{Lg En} \\
E &= 4,184 \times C_f \times En \times \left( \frac{t}{0,2} \right) \left( \frac{610^x}{D^x} \right)
\end{aligned}$$

• Bus 3

$$\begin{aligned}
Lg I_a &= 0,00404 + (0,983 \times \lg 12,38) \\
&= 1,08 \\
I_a &= 10^{1,08} = 12,02 \text{ kA} \\
Lg En &= -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 1,08) + (0,0011 \times 200) \\
&= 0,72 \\
En &= 10^{0,72} = 5,25 \text{ J/cm}^2 \\
E &= 4,184 \times 1 \times 5,25 \times \left( \frac{0,37}{0,2} \right) \left( \frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}} \right) \\
&= 27,4 \text{ J/cm}^2 = 6,5 \text{ cal/cm}^2
\end{aligned}$$

e. Perhitungan energi busur api di bus dengan level tegangan di atas 15 kV

Rumus yang digunakan :

$$E = 2,142 \times 10^6 \times V \times I_{bf} \times \left( \frac{t}{D^2} \right)$$

Ditegangan lebih dari 15 kV arus busur sama dengan arus gangguan

• Bus 25

$$\begin{aligned}
E &= 2,142 \times 10^6 \times 20 \times 11,3 \times \left( \frac{0,1}{914,4^2} \right) \\
&= 57,8 \text{ J/cm}^2 = 13,8 \text{ cal/cm}^2
\end{aligned}$$

#### 4.9 Perbandingan Hasil Simulasi Insiden Energy Busur Api *Resetting* Dengan Perhitungan Insiden Energy Busur Api *Resetting* Dengan Standar IEEE 1584-2002

Pada sub bab ini akan ditampilkan perbandingan hasil dari perhitungan manual insiden *energy* busur api menggunakan standar IEEE 1584-2002 dengan hasil dari simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP. Pada Tabel 4.16 merupakan hasil dari nilai perhitungan manual dengan hasil simulasi.

**Tabel 4.16** Hasil *Setting* Energi Busur Api Eksisting

Bus ID	Eksisting	
	Hasil Perhitungan Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	Hasil Simulasi Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )
Bus 25	13,8	13,83
Bus 3	6,3	5,78
Bus 6	8,9	8,94
Bus 7	8,9	8,94
Bus 8	8,8	8,89
Bus 16	9	8,89
Bus 19	7,3	7,44
Bus 20	8	8,02

Dari data diatas terlihat terdapat sedikit perbedaan antara hasil simulasi dengan hasil perhitungan. Ini dikarenakan pada perhitungan manual terdapat beberapa pembulatan di setiap hasilnya, yang menyebabkan hasil perhitungan menjadi lebih sedikit besar.

#### 4.10 Perhitungan *Flash Protection Boundary* Kondisi *Resetting*

Nilai *energy* busur api yang telah dihitung akan digunakan untuk menentukan jarak aman untuk bekerja dalam lingkungan bertegangan.

Dalam perhitungan ini menggunakan *flash protection boundary* yang berdasarkan pada insiden *energy* di 5 J/cm<sup>2</sup>

- a. Perhitungan *protection boundary* untuk tegangan  $\leq 15$  kV

Rumus yang digunakan ialah :

$$D_B = \left[ 4.184 C_f E_n \left( \frac{t}{0.2} \right) \left( \frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

- Bus 6

$$\begin{aligned} D_B &= [4,184 \times 1,5 \times 2,13 \times \left(\frac{0,35}{0,2}\right) \left(\frac{610^{1,641}}{5}\right)]^{\frac{1}{1,641}} \\ &= 1562,05 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Bus 7

$$\begin{aligned} D_B &= [4,184 \times 1,5 \times 2,13 \times \left(\frac{0,35}{0,2}\right) \left(\frac{610^{1,641}}{5}\right)]^{\frac{1}{1,641}} \\ &= 1562,05 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Bus 8

$$\begin{aligned} D_B &= [4,184 \times 1,5 \times 2,08 \times \left(\frac{0,35}{0,2}\right) \left(\frac{610^{1,641}}{5}\right)]^{\frac{1}{1,641}} \\ &= 1539,60 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Bus 16

$$\begin{aligned} D_B &= [4,184 \times 1,5 \times 2,14 \times \left(\frac{0,36}{0,2}\right) \left(\frac{610^{1,641}}{5}\right)]^{\frac{1}{1,641}} \\ &= 1566,52 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Bus 19

$$\begin{aligned} D_B &= [4,184 \times 1,5 \times 1,73 \times \left(\frac{0,35}{0,2}\right) \left(\frac{610^{1,641}}{5}\right)]^{\frac{1}{1,641}} \\ &= 1376 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Bus 20

$$\begin{aligned} D_B &= [4,184 \times 1,5 \times 1,86 \times \left(\frac{0,35}{0,2}\right) \left(\frac{610^{1,641}}{5}\right)]^{\frac{1}{1,641}} \\ &= 1438,21 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Bus 3

$$\begin{aligned} D_B &= [4,184 \times 1 \times 5,25 \times \left(\frac{0,35}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)]^{\frac{1}{0,973}} \\ &= 4962,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

- b. Perhitungan *protection boundary* untuk tegangan di atas 15 kV

Rumus yang digunakan berdasarkan Metode Lee, yaitu sebagai berikut :

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 \times V \times Ibf \times \frac{t}{Eb}}$$

- Bus 25

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 \times 20 \times 11,3 \times \frac{0,1}{5}}$$

$$= 3111,56 \text{ mm}$$

*Protection boundary* merupakan batasan daerah kerja untuk para pekerja di lingkungan bertegangan. Setiap daerah memiliki resiko yang berbeda. Dengan penurunan energi busur api, tingkat resiko bahaya juga berkurang dan jarak dari pekerja keperalatan juga semakin dekat. Dengan mengetahui resiko dari bahaya pekerjaan didaerah bertegangan, pekerja dapat menggunakan peralatan yang sesuai dan pencegahan - pencegahan yang perlu diambil. Pada tabel 4.17 merupakan hasil *setting Flash Protection boundary* pada kondidi *resetting*.

**Tabel 4.17** Hasil *Flash Protection Boundary Resetting*

ID BUS	Resetting	
	Hasil Perhitungan <i>Flash Protection boundary</i> (m)	Hasil Simulasi <i>Flash Protection boundary</i> (m)
Bus 25	3,1	3,1
Bus 3	4,9	4,6
Bus 6	1,56	1,6
Bus 7	1,56	1,6
Bus 8	1,53	1,5
Bus 16	1,56	1,5
Bus 19	1,37	1,4
Bus 20	1,4	1,5

Dari data diatas terlihat hasil perhitungan *Flash Protection boundary* dengan hasil simulasi *Flash Protection boundary* menggunakan perangkat lunak ETAP mempunyai hasil mendekati sama.

#### 4.11 Perbandingan Besar Energi Busur Api Kondisi Eksisting dan Setelah *Resetting*

Pada beberapa sub bab sebelumnya telah ditampilkan hasil perhitungan dan simulasi besarnya insiden energy pada sistem kelistrikan PT. Petro Oxo Nusantara Gresik. Pada sub bab ini akan dijelesakan mengenai perbedaan insiden energy pada kondisi eksisting

dan setelah di *resetting*. Perbandingan data perhitungan tersebut ditampilkan pada tabel 4.18

**Tabel 4.18** Data Perbandingan Besar Insiden Energi Sistem Eksisting dan *Resetting*

ID Bus	Insiden Energi Eksisting (cal/cm <sup>2</sup> )	Level Energi	Insiden Energi <i>Resetting</i> (cal/cm <sup>2</sup> )	Level Energi
Bus 25	13,8	Level 3	13,8	Level 3
Bus 3	4,25	Level 1	6,3	Level 2
Bus 6	157,73	Level >4	8,9	Level 3
Bus 7	157,73	Level >4	8,9	Level 3
Bus 8	155,93	Level >4	8,8	Level 3
Bus 16	160,2	Level >4	9	Level 3
Bus 19	186	Level >4	7,3	Level 2
Bus 20	3,06	Level 1	8	Level 3

Berdasarkan Berdasarkan tabel 4.18, jika dibandingkan dengan kondisi eksisting, kondisi *resetting* pada bus 3 dan bus 20 mengalami peningkatan energi. Sedangkan pada bus 6,7,8,16,dan 19 mengalami penurunan energi, hal ini dikarenakan berubahnya nilai FCT (*Fault Clearing Time*) setelah sistem terkoordinasi dengan benar.

#### **4.12 Personal Protective Equipment (PPE) yang Harus Digunakan**

Personal protective equipment (PPE) merupakan alat perlindungan diri yang harus digunakan ketika melakukan suatu pekerjaan di daerah yang beresiko terkena busur api. Berdasarkan hasil analisa busur api yang dilakukan untuk kondisi setelah *resetting*, maka jenis PPE dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Penting untuk menganalisa dan mengetahui besar *energy* busur api yang ada agar mengetahui jenis PPE yang tepat yang harus digunakan

supaya dapat menurunkan resiko terkena dampak dari busur api bagi para pekerja terkait.

**Tabel 4.19** Data Kategori PPE Bus Pada PT. Petro Oxo Nusantara Gresik

No.	ID Bus	Kategoi PPE	PPE
1	Bus 25	3	<i>Flash suit hood</i> , Pelindung wajah dan kepala, Pakaian tahan api, Pelindung mata, Pelindung telinga, Celana panjang
2	Bus 3	2	Pelindung Wajah dan Kepala, Pakaian Tahan Api, Pelindung Mata, Pelindung Telinga, Celana Panjang
3	Bus 6	3	<i>Flash suit hood</i> , Pelindung wajah dan kepala, Pakaian tahan api, Pelindung mata, Pelindung telinga, Celana panjang
4	Bus 7	3	<i>Flash suit hood</i> , Pelindung wajah dan kepala, Pakaian tahan api, Pelindung mata, Pelindung telinga, Celana panjang
5	Bus 8	3	<i>Flash suit hood</i> , Pelindung wajah dan kepala, Pakaian tahan api, Pelindung mata, Pelindung telinga, Celana panjang
6	Bus 16	3	<i>Flash suit hood</i> , Pelindung wajah dan kepala, Pakaian tahan api, Pelindung mata, Pelindung telinga, Celana panjang
7	Bus 19	2	Pelindung Wajah dan Kepala, Pakaian Tahan Api, Pelindung Mata, Pelindung Telinga, Celana Panjang
8	Bus 20	3	<i>Flash suit hood</i> , Pelindung wajah dan kepala, Pakaian tahan api, Pelindung mata, Pelindung telinga, Celana panjang

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil studi koordinasi proteksi dan busur api pada sistem kelistrikan di PT. Petro Oxo Nusantara, Gresik, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada sistem koordinasi eksisting di PT. Petro Oxo Nusantara, Gresik terdapat kesalahan sehingga perlu disempurnakan. Terlihat dari hasil *plot* kurva arus waktu rele pengaman untuk kondisi eksisting menunjukkan bahwa rele belum terkoordinasi dengan baik.
2. Resetting dilakukan dengan menyesuaikan grading waktu rele pengaman berdasarkan koordinasi proteksi menggunakan standar IEEE 1584-2002
3. Hasil setting koordinasi proteksi menyebabkan insiden *energy* bertambah besar pada bus 3 dan 20. karena pada sistem eksisting FCT untuk bus 3 sebesar 0,24 sekon. Setelah dilakukan *resetting* menjadi 0,37 sekon. Hal ini menyebabkan insiden *energy* menjadi lebih besar yaitu 6,3 cal/ cm<sup>2</sup> .
4. Pada bus 6,7,8,16 dan 19 insiden *energy* menjadi lebih kecil. Dengan mengambil contoh bus 7, insiden *energy* saat eksisting sebesar 153,1 cal/ cm<sup>2</sup> setelah diresetting menjadi 9,4 cal/ cm<sup>2</sup> . menurunnya energi dikarenakan time delay ACB 3 menjadi kecil setelah dilakukan resetting, sehingga waktu pemutusan pun juga menurun menjadi 0,35 sekon.

#### **5.2 Saran**

Dengan mempertimbangkan hasil studi yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, ada beberapa saran yang dapat menjadi masukan untuk kedepannya, yaitu sebagai berikut :

1. Dari setting rele pengaman yang didapat dan hasil dari plot kurva arus waktu resetting dapat dijadikan pertimbangan dan referensi dalam melakukan setting rele pengamana pada PT. Petro Oxo Nusantara Gresik.
2. Setelah dilakukan perhitungan besarnya *energy arc flash* disetiap bus PT. Petro Oxo Nusantara Gresik, sebaiknya para pekerja mengunakan PPE sesuai hasil perhitungan.



----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEEE Std 1584<sup>TM</sup> – 2002, “*IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculation*”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 2002.
- [2] Pujiantara, Margo, “*Kuliah Desain Sistem Tenaga Listrik*”, Teknik Elektro ITS, Surabaya, 2016
- [3] Soeprijanto, Adi, “*Kestabilan Sistem Tenaga Listrik Diktat Kuliah Analisa Sistem Tenaga Listrik 2*” Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [4] Lazar, Irwin, “*Electrical System Analysis and Design for Industrial Plants*”, McGraw-Hill, Inc., USA, Ch.1, Ch.4, 1980.
- [5] Wahyudi, “*Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik*”, Jurusan Teknik Elektro ITS, Surabaya
- [6] Jones, Ray. A, “*Safety BASICS 93<sup>TM</sup> Handbook for Electrical Safety Edition 2*”, Cooper Bussman, Inc., USA, 2004.
- [7] Anderson, P.M., “*Power System Protection*”, IEEE Press Power Engineering Series, New York, 1999
- [8] L. Tobing, Bonggas, “*Peralatan Tegangan Tinggi*, Diktat Kuliah Peralatan Tegangan Tinggi, Edisi Kedua”, Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- [9] Simms, J., Johnson, G., “Protective Relaying Methods for Reducing Arc Flash Energy”, IEEE Transaction On Industry Applications, Vol. 49, No. 2, pp 803, April, 2013

----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

## LAMPIRAN 1

Protection  
and control

Sepam range  
**Sepam 2000**  
Metering and protection  
functions



## Phase overcurrent

<b>ANSI code</b>	<b>50-51</b>
<b>function n°</b>	F01X for phase overcurrent I1, I2, I3 $1 \leq X \leq 6$ F02Y for phase overcurrent I1', I2', I3' $1 \leq Y \leq 2$

### Operation

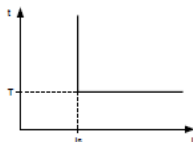
Phase overcurrent protection is three-pole.  
It picks up when one, two or three of the currents reaches the set point. It is time-delayed.  
The time delay may be definite (definite DT) or IDMT (standard Inverse SIT, very Inverse VIT or LTI <sup>(1)</sup>, extremely Inverse EIT, ultra Inverse UIT).

See curves in appendix.  
<sup>(1)</sup> The very Inverse time VIT delay setting range may be used to create LTI curves.

Logic data K859 = 1 may be used to inhibit start up of the time delay.  
(regarding use, refer to "start-up of time delays" in appendix).

#### Definite time protection

Is is the set point expressed in Amps, and T is the protection time delay.



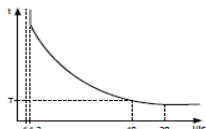
Definite time protection principle.

#### IDMT protection

IDMT protection operates in accordance with the IEC 60255-3 and BS 142 standards.

#### IDMT protection

IDMT protection operates in accordance with the IEC 60255-3 and BS 142 standards.



IDMT protection principle.

Is is the vertical asymptote of the curve, and T is the operation time delay for 10 Is.

The curve is defined according to the following equations:

■ standard Inverse time SIT

$$t = \frac{0.14}{(I/I_s)^{0.02}} \cdot \frac{T}{2.97}$$

■ very Inverse time VIT or LTI

$$t = \frac{13.5}{(I/I_s)^{-1}} \cdot \frac{T}{1.5}$$

■ extremely Inverse time EIT

$$t = \frac{80}{(I/I_s)^{-1}} \cdot \frac{T}{0.808}$$

■ ultra Inverse time UIT

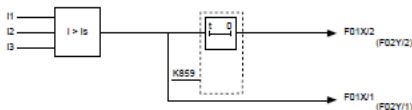
$$t = \frac{315}{(I/I_s)^{1.4}} \cdot T$$

The function also takes into account current variations during the time delay interval.

For currents with a very large amplitude, the protection has a definite time characteristic:

- if  $I \sim 20$  Is, tripping time is the time that corresponds to 20 Is.
- if  $I \sim 24$  Is, tripping time is the time that corresponds to 24 Is.

#### Block diagram



## LAMPIRAN 2

Protection  
and control

Sepam range  
**Sepam 1000**  
Use  
Commissioning



GROUPE SCHNEIDER

■ Merlin Gerin ■ Square D ■ Telemecanique

## use (current operations)

### energizing

When re-energized after a break in the auxiliary power supply, Sepam 1000 automatically restarts according to the following sequence which lasts about 4 seconds:

- green on and red indicators light up,
- extinction of red indicator,
- resetting of watchdog contact,

- display of the first message (version name followed by version number). Sepam is then in operation. Sepam 1000 performs the functions of a precision measurement and alarm processing unit.
- The values are displayed directly with the related unit A, kA, etc. The messages are clearly worded.

The device is operated via the front, by using the 7 keys on the keyboard:

- **meter**: access to measurements
- **status**: access to general parameters
- **relay**: access to protection parameters
- **data**, **data+** and **enter**: setting keys (activated in P mode only)
- **reset**: acknowledgement, trip message readout, resetting to zero.

### meter key

The **meter** key is used to display the values measured by Sepam.



name	function	range	accuracy	remarks
<b>meter key / "Ammeter" page</b>				
I1 I2 I3	measurement of each phase current	0.05 to 24In	±5% or ±0.03In	
IM1 IM2 IM3	measurement of the greatest average phase current for each phase	0.05 to 24In	±5% or ±0.03In	RESET: <b>reset</b> key value calculated every 5 mn
<b>meter key / "I trip" page</b>				
TRIP1 TRIP2 TRIP3 TRIPo	measurement of phase and earth currents at the time of the last tripping order (activation of TRIP relay)	0.05 to 24In  0.02 to 10Ino	±5% or ±0.03In  ±5% or ±0.02Ino or ±0.1 A	no RESET
<b>meter key / "Other data" page</b>				
E Ii CH	heat rise (thermal overload) negative sequence current running hours counter	0 to 200% 10 to 500%Ib 0 to 99999h	±5% or ±0.02In ±1% or ±0.5h	RESET: <b>reset</b> key in parameter setting mode ■ the counter value is saved in non volatile storage every 24 h
N or Tsi	number of starts before lockout or waiting period before restarting allowed	1 to 60h 1 to 60 mn		
Vd	measurement of positive sequence voltage	0.025 to 1.5 Vnp	±5% or ±0.005Vnp	
OUTPUT	logic output status	0 or 1		2 or 5 digit code
INPUT	logic input status (when ES1 option is included)	0 or 1		
<b>meter key / "V/Hz meter" page</b>				
U21 U32 U13	measurement of phase-to-phase voltages	0.015 to 1.5Unp	±3% or ±0.005Unp	U21 and U32 are measured U13 is calculated
F	measurement of frequency	50 ±5 Hz 60 ±5 Hz	±0.05 Hz	measured on voltages U21 and U32

## BIODATA PENULIS



Nama : Fidy Eka Prahesti  
TTL : Gresik, 23 Juni 1994  
Jenis Kelamin : Perempuan  
Agama : Islam  
Alamat Rumah : JL. Kudus no 32  
Gresik  
Telp/HP : 089678647566  
E-mail : feprahesti@gmail.com  
Hobi : Berenang

### RIWAYAT PENDIDIKAN

- 2000 – 2006 : SD Muhammadiyah 2 Gresik
- 2006 – 2009 : SMP Muhammadiyah 12 GKB Gresik
- 2009 – 2012 : SMA Negeri 1 Manyar Gresik
- 2012 – 2015 : Bidang Studi Elektro Industri, Program D3 Teknik Elektro, ITS
- 2015 – Sekarang : Bidang Sistem Tenaga, Program S1 Teknik Elektro, ITS

### PENGALAMAN KERJA

- Kerja Praktek di PLTGU PJB Gresik (1 Juli – 26 Juli 2013)
- Kerja Praktek di Pt Petro Oxo Nusantara Gresik
- Kerja Praktek di Pt Petrokimia Gresik

### PENGALAMAN ORGANISASI

- Staf magang Kewirausahaan HIMAD3TEKTRO 2012 – 2013
- Staf Kewirausahaan HIMAD3TEKTRO 2013 – 2014
- Staf Dana Usaha Lembaga Dakwah Jurusan 2013-2014
- Koordinator departemen Dana dan Kelembagaan Lembaga Dakwah Jurusan 2013-2014



----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----